



**ANA MICAELA
SIMÕES SALGUEIRO**

**CONTROLO DE QUALIDADE DE AGREGADOS
FINOS DE MISTURAS BETUMINOSAS**



**ANA MICAELA
SIMÕES SALGUEIRO**

**CONTROLO DE QUALIDADE DE AGREGADOS
FINOS DE MISTURAS BETUMINOSAS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Prof. Doutora Margarida João Fernandes de Pinho Lopes
professora auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Rosa Paula da Conceição Luzia
professora adjunta da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta
professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

O meu obrigado a todas as pessoas que, de forma directa ou indirecta, contribuíram para que esta investigação fosse possível;

Ao Prof. Doutor Agostinho Benta pela disponibilidade incondicional, pelo seu profissionalismo e pela confiança depositada em mim;

Aos Engenheiros Luís Barbosa e Luís Silva, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, pelo apoio, acompanhamento e disponibilidade;

À Engenheira Maria Carlos e aos Técnicos do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil, em particular ao Engenheiro João Festas e ao Vítor Rodrigues pelo esclarecimento de dúvidas e acompanhamento na execução dos ensaios;

Ao Professor Doutor Fernando Rocha, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, pela ajuda prestada;

À minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, pelo importante e constante apoio, tornando possível a realização deste trabalho.

palavras-chave

agregados finos, contaminantes, misturas betuminosas, características mecânicas, resistência conservada.

resumo

Com o aumento do volume e da agressividade do tráfego é exigida uma maior qualidade dos pavimentos. O aperfeiçoamento dos métodos de dimensionamento de pavimentos e a melhoria do comportamento das misturas betuminosas são por isso fundamentais.

Este trabalho teve como principal objectivo estudar a influência da presença de contaminantes finos, aplicando as especificações técnicas relativas ao controlo de qualidade de agregados minerais, na qualidade final de misturas betuminosas.

Foram seleccionados os dois principais tipos de agregados utilizados em Portugal e caracterizados de acordo com a normativa europeia na perspectiva da aplicação destes agregados em misturas betuminosas.

No âmbito do estudo do comportamento dos finos em misturas, foram contaminadas amostras de Granito e de Calcário com diferentes percentagens de finos e, realizados ensaios para avaliação das propriedades físicas dos agregados - análise granulométrica, equivalente de areia e azul de metileno.

Depois de caracterizados os agregados e os contaminantes foram produzidas quatro misturas de Granito e quatro de Calcário, nas quais foram utilizadas, respectivamente, Caulino e Argila Vermelha para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. Foi caracterizado o seu comportamento através do método de Marshall e estudadas as propriedades relacionadas com o seu desempenho.

Concluiu-se que a utilização de Granito contaminado com Caulino e de Calcário contaminado com Argila Vermelha altera significativamente as características mecânicas das misturas betuminosas.

keywords

fine aggregates, contaminants, bituminous mixtures, mechanical characteristics, water sensitivity.

abstract

With the increasing of volume and aggression of traffic, a higher quality of pavements is required. The improvement of methods of pavement design and improvement of the behavior of bituminous mixtures are therefore essential.

This work had as main objective to study the influence of the presence of fine contaminants, applying the technical specifications for the quality control of mineral aggregates, in the final quality of bituminous mixtures.

Were selected the two main types of aggregates used in Portugal and characterized them according to European standards in view of the application of these aggregates in bituminous mixtures.

Within the scope of the behavior of fine in mixtures, were contaminated samples of limestone and granite with different percentages of fines. Were also realized tests to evaluate the physical properties of aggregates - determination of particle size distribution, sand equivalent test and methylene blue test.

After the characterization of the aggregates and contaminants, were produced four mixtures of granite and four mixtures of Limestone, in which were used, respectively, Kaolin and Clay Red to replace part of the fine material of bituminous mixtures. Their behavior was characterized by the method of Marshall and studied the properties related to its performance.

It was concluded that the use of Granite contaminated with Kaolin and of limestone contaminated with red clay significantly change the mechanical characteristics of bituminous mixtures.

Índice Geral

Capítulo 1

Introdução.....	1
-----------------	---

Capítulo 2

Enquadramento dos Agregados como Materiais de Construção	5
2.1. Agregados.....	5
2.2. Classificação dos Agregados.....	5
2.3. Pavimentos Rodoviários	7
2.3.1. Tipos de Pavimentos e Respektivas Aplicações dos Agregados	7
2.4. Agregados para Misturas Betuminosas.....	8
2.4.1. Importância do Filer para as Misturas Betuminosas.....	8
2.5. Características dos Agregados	9
2.5.1. Granulometria	9
2.5.2. Petrografia.....	9
2.5.3. Forma das Partículas	10
2.5.4. Limpeza	10
2.5.5. Resistência à Fragmentação, ao Desgaste e ao Polimento	11
2.5.6. Massa Volúmica e Absorção de Água	11
2.5.7. Filer.....	11
2.5.8. Outras Propriedades	12

Capítulo 3

Situação Actual da Exploração de Agregados em Portugal.....	13
3.1. Volume e Valor de Produção.....	13

3.2.	Distribuição da Indústria Extractiva de Agregados em Portugal.....	15
3.2.1.	Região Norte.....	16
3.2.2.	Região Centro	18
3.2.3.	Região de Lisboa e Vale do Tejo	20
3.2.4.	Região do Alentejo	22
3.2.5.	Região do Algarve.....	24

Capítulo 4

Enquadramento Normativo	27
4.1. Normalização Europeia e Marcação CE.....	27
4.2. Normas Europeias para Ensaios em Agregados	29
4.3. Ensaios para Agregados anteriores às Normas Europeias	32

Capítulo 5

Caracterização de Agregados Finos.....	35
5.1. Análise Granulométrica.....	35
5.2. Determinação do Teor de Finos	39
5.2.1. Equivalente de Areia	39
5.2.2. Azul de Metileno	40
5.3. Limites de Consistência	42
5.4. Análise Mineralógica	44
5.5. Determinação da Densidade das Partículas.....	45
5.6. Caracterização das Misturas.....	46
5.6.1. Análise Granulométrica.....	47
5.6.2. Equivalente de Areia	48
5.6.3. Azul de Metileno	50

Capítulo 6

Influência dos Contaminantes no Desempenho de Misturas Betuminosas	53
6.1. Caracterização dos Agregados	53
6.1.1. Granulometria	54
6.1.2. Massa Volúmica e Absorção de Água.....	56
6.2. Mistura Betuminosa Estudada	58
6.2.1. Curva Granulométrica das Misturas.....	58
6.2.1.1. Granitos	58

6.2.1.2.	Calcários	60
6.2.2.	Determinação da Percentagem de Betume	62
6.3.	Ensaio de Marshall	63
6.3.1.	MBD - Granitos	65
6.3.2.	MBD - Calcários	69
6.4.	Resistência Conservada.....	74
6.4.1.	MBD - Granitos.....	77
6.4.2.	MBD - Calcários	81
Capítulo 7		
Conclusões		87
Bibliografia		91
Anexo I.....		I
Anexo II.....		XLV

Índice de Figuras

Figura 3.1 - Volume de produção de agregados em Portugal em 2007.....	14
Figura 3.2 - Valor de produção de agregados em Portugal em 2007.....	14
Figura 3.3 - Distribuição dos volumes de produção de agregados nos diferentes distritos de Portugal em 2007	15
Figura 3.4 - Volume de produção de agregados na Região Norte em 2007	17
Figura 3.5 - Valor de produção de agregados na Região Norte em 2007	17
Figura 3.6 - Volume de produção de agregados na Região Centro em 2007	19
Figura 3.7 - Valor de produção de agregados na Região Centro em 2007	19
Figura 3.8 - Volume de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007	21
Figura 3.9 - Valor de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007	21
Figura 3.10 - Volume de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007.....	23
Figura 3.11 - Valor de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007.....	23
Figura 3.12 - Volume de produção de agregados na Região do Algarve em 2007	25
Figura 3.13 - Valor de produção de agregados na Região do Algarve em 2007	25
 Figura 5.1 - Aspecto dos materiais caracterizados.....	 35
Figura 5.2 - Aspecto dos peneiros com 8,0 mm e 4,0 mm de abertura utilizados no ensaio da análise granulométrica.....	36
Figura 5.3 - Curva granulométrica do Pó de Pedra de Granito	37
Figura 5.4 - Curva granulométrica do Caulino.....	37
Figura 5.5 - Curva granulométrica do Pó de Pedra de Calcário	38
Figura 5.6 - Curva granulométrica da Argila Vermelha	38
Figura 5.7 - Material utilizado no ensaio do azul de metileno.....	41

Figura 5.8 - Concha de Casagrande	43
Figura 5.9 - Aspecto da amostra após os ensaios	43
Figura 5.10 - Limite de liquidez das amostras de Caulino e Argila Vermelha	43
Figura 5.11 - Exsicador utilizado no ensaio de determinação da densidade das partículas	45
Figura 5.12 - Fracção fina das amostras de Caulino e de Argila Vermelha	46
Figura 5.13 - Curvas granulométricas da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante	47
Figura 5.14 - Curvas granulométricas da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante	47
Figura 5.15 - Equivalente de areia do Granito e do Calcário com diferentes percentagens de contaminante	49
Figura 5.16 - Azul de metileno do Granito e do Calcário com diferentes percentagens de contaminante	51
Figura 6.1 - Aspecto dos agregados de Granito	53
Figura 6.2 - Aspecto dos agregados de Calcário	54
Figura 6.3 - Curvas granulométricas dos agregados de Granito	55
Figura 6.4 - Curvas granulométricas dos agregados de Calcário	55
Figura 6.5 - Curvas granulométricas dos agregados utilizados na mistura de Granito	59
Figura 6.6 - Curva da mistura de Granito e fuso granulométrico da MBD para camadas de regularização	59
Figura 6.7 - Curvas granulométricas dos agregados utilizados na mistura de Calcário	60
Figura 6.8 - Curva da mistura de Calcário e fuso granulométrico da MBD para camadas de regularização	61
Figura 6.9 - Preparação e moldagem dos provetes	63
Figura 6.10 - Pesagem dos provetes secos e imersos	64
Figura 6.11 - Material utilizado no ensaio de Marshall	64
Figura 6.12 - Influência do contaminante nas características da mistura betuminosa de Granito .	68
Figura 6.13 - Influência do contaminante nas características da mistura betuminosa de Calcário.	73
Figura 6.14 - Aspecto dos provetes	75
Figura 6.15 - Paquímetro	76
Figura 6.16 - Influência do contaminante na resistência conservada da mistura betuminosa de Granito	80
Figura 6.17 - Aspecto dos provetes ensaiados	81

Figura 6.18 - Influência do contaminante na resistência conservada da mistura betuminosa de Calcário.....	85
Figura I.1 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.	II
Figura I.2 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.....	III
Figura I.3 - Análise granulométrica da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.	IV
Figura I.4 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Granito. Sedigraph.....	V
Figura I.5 - Análise granulométrica do Caulino. Sedigraph.	VI
Figura I.6 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Calcário. Sedigraph.	VII
Figura I.7 - Análise granulométrica da Argila Vermelha. Sedigraph.....	VIII
Figura I.8 - Equivalente de areia do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.....	IX
Figura I.9 - Equivalente de areia do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.	X
Figura I.10 - Azul de metileno do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.	XI
Figura I.11 - Azul de metileno do Caulino. Folha de registo do ensaio.....	XII
Figura I.12 - Azul de metileno do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.....	XIII
Figura I.13 - Azul de metileno da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.	XIV
Figura I.14 - Limite de liquidez do Caulino. Folha de registo do ensaio.....	XV
Figura I.15 - Limite de liquidez da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.	XVI
Figura I.16 - Limite de plasticidade do Caulino. Folha de registo do ensaio.....	XVII
Figura I.17 - Limite de plasticidade da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.	XVIII
Figura I.18 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Granito	XIX
Figura I.19 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Caulino	XX
Figura I.20 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Calcário	XXI
Figura I.21 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Argila Vermelha	XXII
Figura I.22 - Determinação da densidade das partículas do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.....	XXIII
Figura I.23 - Determinação da densidade das partículas do Caulino. Folha de registo do ensaio.	XXIV
Figura I.24 - Determinação da densidade das partículas do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.....	XXV
Figura I.25 - Determinação da densidade das partículas da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.	XXVI
Figura I.26 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante..	XXVII
Figura I.27 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante.	XXVIII

Figura I.28 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante...	XXIX
Figura I.29 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante. ...	XXX
Figura I.30 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante. .	XXXI
Figura I.31 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante.	XXXII
Figura I.32 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXIII
Figura I.33 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXIV
Figura I.34 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXV
Figura I.35 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXVI
Figura I.36 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXVII
Figura I.37 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXVIII
Figura I.38 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XXXIX
Figura I.39 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XL
Figura I.40 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XLI
Figura I.41 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XLII
Figura I.42 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XLIII
Figura I.43 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante.	
Folha de registo do ensaio.	XLIV
Figura II.1 - Análise granulométrica do agregado BG1. Folha de registo do ensaio.	XLVI
Figura II.2 - Análise granulométrica do agregado BG2. Folha de registo do ensaio.	XLVII
Figura II.3 - Análise granulométrica do agregado BG3. Folha de registo do ensaio.	XLVIII
Figura II.4 - Análise granulométrica do agregado BC1. Folha de registo do ensaio.....	XLIX
Figura II.5 - Análise granulométrica do agregado BC2. Folha de registo do ensaio.....	L

Figura II.6 - Determinação da massa volúmica do agregado BG1. Folha de registo do ensaio.	LI
Figura II.7 - Determinação da massa volúmica do agregado BG2. Folha de registo do ensaio.	LII
Figura II.8 - Determinação da massa volúmica do agregado BG3. Folha de registo do ensaio.	LIII
Figura II.9 - Determinação da massa volúmica do agregado BC1. Folha de registo do ensaio.....	LIV
Figura II.10 - Determinação da massa volúmica do agregado BC2. Folha de registo do ensaio.....	LV

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Volume e valor de produção de agregados na Região Norte em 2007.....	18
Tabela 3.2 - Volume e valor de produção de agregados na Região Centro em 2007	20
Tabela 3.3 - Volume e valor de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007.....	22
Tabela 3.4 - Volume e valor de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007	24
Tabela 3.5 - Volume e valor de produção de agregados na Região do Algarve em 2007	26
Tabela 3.6 - Volume e valor de produção de agregados nas várias regiões de Portugal em 2007 ..	26
Tabela 4.1 - Sistemas de comprovação de conformidade como base para a marcação CE	28
Tabela 4.2 - Ensaio para a determinação das propriedades gerais dos agregados.....	30
Tabela 4.3 - Ensaio para a determinação das propriedades geométricas dos agregados	30
Tabela 4.4 - Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados....	31
Tabela 4.5 - Ensaio para a determinação das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados	32
Tabela 4.6 - Ensaio para a determinação das propriedades químicas dos agregados.....	32
Tabela 5.1 - Classificação dos solos.....	39
Tabela 5.2 - Resultados do ensaio do equivalente de areia.....	40
Tabela 5.3 - Classificação dos solos.....	41
Tabela 5.4 - Resultados do ensaio do azul de metileno.....	42
Tabela 5.5 - Resultados do ensaio de determinação dos limites de consistência	44
Tabela 5.6 - Resultados do ensaio de determinação da densidade das partículas.....	46
Tabela 5.7 - Equivalente de areia da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante	48

Tabela 5.8 - Equivalente de areia da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante	49
Tabela 5.9 - Azul de metileno da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante	50
Tabela 5.10 - Azul de metileno da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante	50
Tabela 6.1 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG1	56
Tabela 6.2 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG2	57
Tabela 6.3 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG3	57
Tabela 6.4 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BC1	57
Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BC2	58
Tabela 6.6 - Curva granulométrica da mistura de Granito	60
Tabela 6.7 - Curva granulométrica da mistura de Calcário	61
Tabela 6.8 - Superfície específica dos agregados	63
Tabela 6.9 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante	65
Tabela 6.10 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante	66
Tabela 6.11 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante	66
Tabela 6.12 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante	67
Tabela 6.13 - Resultados do ensaio de Marshall para as misturas betuminosas de Granito	67
Tabela 6.14 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante	70
Tabela 6.15 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante	70
Tabela 6.16 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante	71
Tabela 6.17 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante	71
Tabela 6.18 - Resultados do ensaio de Marshall para as misturas betuminosas de Calcário	72
Tabela 6.19 - Identificação e distribuição dos provetes pelos ensaios	75
Tabela 6.20 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante (30 min)	77
Tabela 6.21 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante (30 min)	77
Tabela 6.22 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante (30 min)	78
Tabela 6.23 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante (30 min)	78
Tabela 6.24 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante (24 horas)	78
Tabela 6.25 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante (24 horas)	79
Tabela 6.26 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante (24 horas)	79
Tabela 6.27 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante (24 horas)	79

Tabela 6.28 - Resultados do ensaio de resistência conservada para as diferentes misturas de Granito	80
Tabela 6.29 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante (30 min).....	82
Tabela 6.30 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante (30 min).....	82
Tabela 6.31 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante (30 min).....	82
Tabela 6.32 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante (30 min).....	83
Tabela 6.33 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante (24 horas).....	83
Tabela 6.34 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante (24 horas).....	83
Tabela 6.35 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante (24 horas).....	84
Tabela 6.36 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante (24 horas).....	84
Tabela 6.37 - Resultados do ensaio de resistência conservada para as diferentes misturas de Calcário.....	85

Simbologia

ASTM - American Society for Testing and Materials

CEEP - Caderno de Encargos tipo da Estradas de Portugal S. A.

d - Densidade das partículas

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia

DRX - Difracção de raio-X

EN - European Standard

IP - Índice de Plasticidade

IRC - Índice de Resistência Conservada

LL - Limite de Liquidez

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MB - Azul de metileno

MBD - Mistura Betuminosa Densa

n - Porosidade

NP - Norma Portuguesa

SE - Equivalente de areia

VMA - Volume de vazios na mistura de agregados

WA₂₄ - Absorção de água

ρ_a - Massa volúmica do material impermeável das partículas

ρ_{rd} - Massa volúmica das partículas secas em estufa

ρ_{ssd} - Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca

Capítulo 1

Introdução

Com o evoluir dos tempos, as vias de comunicação rodoviárias têm sido cada vez mais utilizadas não só pela sua flexibilidade e densa extensão mas também por razões económicas.

Como consequência tem-se verificado um aumento do volume e da agressividade do tráfego, exigindo assim uma maior qualidade dos pavimentos. Paralelamente, os métodos de dimensionamento de pavimentos têm vindo a ser sistematicamente melhorados. Por outro lado, actualmente tem-se também um maior conhecimento do comportamento das misturas betuminosas. Embora estes aperfeiçoamentos minimizem o aparecimento de degradações associadas aos principais mecanismos de ruína do pavimento, não se consegue impedir a ocorrência de fendilhamento com origem na superfície, nem a desagregação da camada superficial do pavimento.

Em relação aos agregados para misturas betuminosas, estes já devem possuir obrigatoriamente certificação CE (assim como as misturas), garantindo assim que estes se encontram em conformidade com a legislação técnica aplicável e, poderem assim ser comercializados e circularem livremente por todo o Espaço Económico Europeu. No entanto, é muito corrente que as fracções finas destes agregados venham “contaminados” com diversos outros materiais que prejudiquem a resposta esperada desses mesmos agregados, prejudicando assim evidentemente a qualidade da mistura betuminosa final. Em Portugal, os agregados mais usados no fabrico de misturas betuminosas são o Granito e o Calcário. O aparecimento do “contaminante” Caulino é muito corrente nos agregados de Granito, por outro lado, a Argila Vermelha ou “Terra Rossa” costuma estar associada a agregados de Calcário.

Introdução

Face a tudo isto, este trabalho tem como principal objectivo estudar a influência da presença de contaminantes finos, aplicando as especificações técnicas relativas ao controlo de qualidade de agregados minerais, na qualidade final de misturas betuminosas.

Foram seleccionados os dois principais tipos de agregados utilizados em Portugal - Granito e Calcário - e caracterizados de acordo com a normativa europeia, na perspectiva da aplicação destes agregados em misturas betuminosas. Foram realizados os seguintes ensaios - análise granulométrica, equivalente de areia, azul de metileno, análise mineralógica e densidade das partículas.

No âmbito do estudo do comportamento dos finos nas misturas, foram contaminadas amostras de Granito e de Calcário com diferentes percentagens de contaminante e realizados ensaios para avaliação das propriedades das misturas de agregados com contaminantes - análise granulométrica, equivalente de areia e azul de metileno. O Caulino foi utilizado como contaminante nas amostras de Granito e nas amostras de Calcário foi misturada Argila Vermelha.

Depois de caracterizados os agregados e os contaminantes foram produzidas quatro misturas de Granito e quatro misturas de Calcário, nas quais foram utilizadas, respectivamente, Caulino e Argila Vermelha para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. As misturas produzidas correspondem a uma substituição de 0%, 2%, 4% e 6% de material fino.

Finalmente, foi caracterizado o seu comportamento através do método Marshall e estudadas as propriedades relacionadas com o seu desempenho.

O trabalho encontra-se dividido em sete capítulos, descritos de seguida.

No capítulo 1, Introdução, é feito o enquadramento do tema e são apresentados os objectivos, a metodologia e forma como este trabalho se encontra organizado.

No capítulo 2, Enquadramento dos Agregados como Materiais de Construção, apresenta-se a definição, a classificação e as principais características dos agregados e, procede-se ao enquadramento dos agregados como materiais de construção.

No capítulo 3, Situação Actual da Exploração de Agregados em Portugal, é feita uma análise de diversos elementos estatísticos relativos ao volume e valor de produção de agregados em Portugal.

No capítulo 4, Enquadramento Normativo, apresenta-se a normalização europeia, a marcação CE e as normas europeias para a realização de ensaios em agregados.

No capítulo 5, Caracterização de Agregados Finos, procede-se à caracterização laboratorial de diferentes tipos de agregados de acordo com a normativa europeia, na perspectiva da aplicação destes agregados em misturas betuminosas.

No âmbito do estudo do comportamento dos finos em misturas, são também caracterizadas amostras de Granito e de Calcário contaminadas com diferentes percentagens de finos.

No capítulo 6, Influência dos contaminantes no Desempenho de Misturas Betuminosas, descreve-se a produção das misturas nas quais são utilizadas dois contaminantes naturais para substituir parte do material fino das misturas betuminosas e, caracteriza-se o comportamento das misturas através do método de Marshall e estudam-se as propriedades relacionadas com o seu desempenho.

Este trabalho termina no capítulo 7, Conclusões, com as considerações finais, limitações encontradas durante a realização do mesmo e, propostas para possíveis investigações futuras.

Capítulo 2

Enquadramento dos Agregados como Materiais de Construção

2.1. Agregados

Segundo Carvalho (2003), referido em Matos (2005, p. 7), “os agregados são materiais granulares sem forma ou volume definido, com dimensões adequadas que permitam a sua utilização na construção civil, nomeadamente em misturas betuminosas, camadas granulares, argamassas e betão”. Para além disso, os agregados são considerados para ambos os autores “imprescindíveis na construção de todas as infra-estruturas necessárias às nossas sociedades, pelo que, o seu consumo *per capita* é um factor que traduz de forma muito directa o estado de desenvolvimento económico da sociedade” (Matos, 2005, p. 7).

2.2. Classificação dos Agregados

Os agregados são classificados quanto à origem (naturais, artificiais, reciclados), dimensão (grossos, finos) e massa unitária (leves, normais, pesados).

Os agregados naturais são agregados de origem mineral sujeitos apenas a processamento mecânico (EP, 2009). Apresentam uma granulometria muito variável e são os mais comuns. As areias, as cascalheiras e as rochas britadas são alguns exemplos de agregados naturais (Matos, 2005).

Os agregados artificiais são agregados de origem mineral que resultam de um processo industrial que compreende algumas modificações (EP, 2009). São subprodutos ou resíduos de

actividades industriais. A utilização destes agregados tem vindo a ser condicionada, por questões ambientais, essencialmente pela carga poluente a que podem corresponder (Matos, 2005).

Os agregados reciclados são agregados que resultam do processamento de materiais anteriormente usados na construção (EP, 2009). Segundo Azevedo e Cardoso (2003, p. 149), “a indústria de construção e de manutenção rodoviária pode ser considerada das que mais consomem agregados de elevada qualidade”. De acordo com os autores anteriores, “uma reflexão mais atenta revela que a estrada, pelos materiais já depositados, constitui ela própria uma grande fonte de agregados para construção”. O número de novas pedreiras é cada vez menor e a “utilização dos depósitos em vazadouros (...) cada vez mais regulamentada e mais onerosa” (Azevedo e Cardoso, 2003, p. 149). Os agregados reciclados são, assim, cada vez mais utilizados. Desta forma, e na defesa de um desenvolvimento sustentado, o objectivo deve ser a utilização de materiais alternativos como agregados na construção rodoviária (Freire, 2008). Os agregados reciclados são aplicados em bases e sub-bases de estradas, aterros e taludes, em camadas drenantes e betão betuminoso (Matos, 2005).

Quanto à dimensão, e segundo a norma portuguesa NP EN 13043:2004 - “Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação”, os agregados são classificados em grossos e finos.

Os agregados grossos são os agregados em que a máxima dimensão é inferior ou igual a 45 mm e a mínima dimensão é superior ou igual a 2 mm.

Os agregados finos são os agregados com dimensões compreendidas entre 2 mm e 0,063 mm.

Relativamente à massa unitária, Frazão e Paraguassu (1998), referidos em Matos (2005), classificam os agregados como leves, normais e pesados.

Os agregados leves são agregados com massa unitária inferior a 1 ton/m^3 , os agregados normais com massa unitária compreendida entre 1 ton/m^3 e 2 ton/m^3 e os agregados pesados com massa unitária superior a 2 ton/m^3 .

2.3. Pavimentos Rodoviários

Por diversos motivos, mas essencialmente pela grande flexibilidade e por razões económicas, o transporte rodoviário tem sido dos mais utilizados. No entanto, para que este tipo de transporte seja efectivo e competitivo existe uma dependência clara das vias de comunicação rodoviárias que lhe estão associadas, o que faz com que a sua concepção e desenvolvimento assumam grande importância (Matos, 2005).

2.3.1. Tipos de Pavimentos e Respectivas Aplicações dos Agregados

Relativamente à constituição, Branco *et al.* (2005, p. 9) referem que “um pavimento rodoviário é considerado como um sistema multi-estratificado, formado por várias camadas de espessura finita, apoiadas na fundação constituída pelo terreno natural (maciço semi-indefinido), o qual pode ter um coroamento de qualidade melhorada”.

Os pavimentos podem ser flexíveis, rígidos ou semi-rígidos dependendo da deformabilidade das camadas e das características dos materiais utilizados (Jacinto, 2003; Pinto, 2003).

Os pavimentos flexíveis são constituídos por uma ou mais camadas de misturas betuminosas aplicadas directamente sobre camadas granulares. As camadas granulares são constituídas por materiais não ligados estabilizados mecanicamente e compreendem uma camada de base uma camada de sub-base (Silva, 2009). A camada de base granular pode, no entanto, ser substituída por uma camada de base betuminosa quando o tráfego é intenso, quando se pretende reduzir a espessura do pavimento ou, quando o recurso a materiais granulares de qualidade e a capacidade de suporte das fundações são reduzidos (Jacinto, 2003). Os agregados aplicados nestes pavimentos devem ter uma resistência adequada para que não ocorram deformações (Matos, 2005).

Os pavimentos rígidos são constituídos por uma camada de betão de cimento aplicada sobre uma ou duas camadas de materiais granulares estabilizados ou não com ligante hidráulico (Silva, 2009). Estes pavimentos podem ser aplicados directamente no solo de fundação, na sub-base ou ainda em pavimentos antigos (Oliveira, 2000). São pouco deformáveis mesmo para condições de tráfego pesado, intenso e lento, e de temperaturas elevadas (Branco *et al.*, 2005).

Os pavimentos semi-rígidos são constituídos por uma ou duas camadas de misturas betuminosas aplicadas sobre ou sob uma camada tratada com ligantes hidráulicos ou de betão de cimento.

Assim, os agregados podem ser aplicados nas camadas de base e sub-base não ligadas de pavimentos flexíveis, nas camadas de sub-base de pavimentos rígidos e semi-rígidos e nos leitos de pavimento (Matos, 2005).

2.4. Agregados para Misturas Betuminosas

A crescente utilização das misturas betuminosas na pavimentação de estradas deve-se à capacidade destes materiais, de proporcionar superfícies livres, niveladas e impermeáveis para que os pavimentos possuam capacidade para resistir às acções do tráfego e às condições climáticas.

As misturas betuminosas são compostas por uma fase sólida, constituída por agregados e eventuais aditivos, uma fase fluida, correspondente ao betume e, uma fase gasosa relativa aos vazios (Matos, 2005).

As propriedades dos agregados e dos fileres, a utilizar em misturas betuminosas, são especificadas na norma portuguesa NP EN 13043:2004 - “Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação”.

2.4.1. Importância do Filer para as Misturas Betuminosas

Segundo Santana (1993), referido em Matos (2005, p. 21), o filer “é um material finamente dividido, constituído por partículas minerais provenientes de agregados grossos e/ou finos empregues nas misturas betuminosas, tendo como finalidade principal, em misturas asfálticas, o melhoramento do seu desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água”. Santana (1995), referido em Matos (2005, p.21), acrescenta ainda que “além de preencher os vazios, o filer apresenta a propriedade de aumentar a viscosidade do asfalto espessando-o”.

2.5. Características dos Agregados

2.5.1. Granulometria

A granulometria dos agregados define-se como “a distribuição das dimensões das partículas, expressa como a percentagem de massa que passa numa série de peneiros, relativamente à massa total” (Matos, 2005, p. 24).

A composição granulométrica ideal, para os agregados a utilizar em misturas betuminosas, é a que proporciona misturas mais densas, apesar de ser necessária a existência de alguns vazios para que os agregados possam ser totalmente envolvidos pelo betume (Matos, 2005).

Em Portugal, os agregados com elementos de diferentes dimensões, bem graduados, são usados nas misturas densas para camadas de base e de regularização enquanto os agregados com falta de elementos de determinada dimensão, mal graduados, são usados em misturas betuminosas abertas e drenantes (Matos, 2005; Branco *et al.*, 2005).

A dimensão máxima do agregado também condiciona o comportamento das misturas betuminosas. Se os agregados têm uma dimensão máxima muito pequena, as misturas podem tornar-se instáveis e sofrer deformações permanentes excessivas. Mas, se os agregados têm uma dimensão máxima muito grande, as misturas ficam difíceis de trabalhar e podem ocorrer problemas de segregação de materiais (Matos, 2005).

2.5.2. Petrografia

A análise petrográfica inclui uma análise macroscópica e uma análise microscópica da amostra. Na análise macroscópica é feita uma descrição da amostra da rocha, enquanto na análise microscópica é feita uma descrição da amostra do agregado - partículas com dimensões entre 0,1 mm e 63 mm.

A análise petrográfica identifica e descreve um conjunto de características como, por exemplo, a resistência, a textura, a cor, a composição mineralógica e o estado de alteração da rocha (LNEC, 2006).

2.5.3. Forma das Partículas

A forma das partículas dos agregados condiciona o comportamento das misturas betuminosas. Se, por um lado, as partículas de forma achatada dificultam a compactação das misturas betuminosas, o mesmo não acontece com as partículas de forma arredondada e textura lisa. Estas misturas são mais fáceis de trabalhar e requerem um menor esforço de compactação, continuando mesmo, a compactar sob a acção do tráfego.

As partículas de forma angular e textura rugosa melhoram as características mecânicas das misturas betuminosas - a ligação e o atrito interno entre estas partículas é melhor (Matos, 2005).

Luzia (2008, p. 92), citando Pereira e Picado Santos (2002), refere que “a forma das partículas de agregado a utilizar nas camadas de pavimentos rodoviários deverá ser aproximadamente cúbica, não devendo as partículas ser lamelares ou alongadas, por serem mais frágeis”.

A forma das partículas é caracterizada pelo índice de achatamento e pelo índice de forma (Matos, 2005).

2.5.4. Limpeza

A presença de materiais que dificultam o envolvimento dos agregados pelo ligante, que reagem com a água ou de natureza orgânica, nas misturas betuminosas pode prejudicar o seu desempenho (Matos, 2005).

Assim, os agregados devem ser limpos e não ter impurezas que possam reduzir o atrito entre as partículas, originar variações volumétricas com a presença de água ou dificultar o envolvimento dos agregados pelo ligante.

A limpeza dos agregados é avaliada pelo ensaio do equivalente de areia e pelo ensaio do azul de metileno (Branco *et al.*, 2005).

O ensaio do equivalente de areia permite avaliar a quantidade de finos presentes num agregado e definir, assim, se este está ou não limpo (Luzia, 2008; Branco *et al.*, 2005).

Segundo Luzia (2008, p. 87), “um dos inconvenientes deste ensaio é o facto de apenas permitir avaliar a quantidade de material fino presente num dado agregado e não a sua nocividade, isto é, a “argilosidade” do mesmo”.

O ensaio do azul de metileno permite avaliar a quantidade e a qualidade ou “actividade” da argila existente num agregado, e avaliar o maior ou menor grau de limpeza do mesmo (Luzia, 2008).

2.5.5. Resistência à Fragmentação, ao Desgaste e ao Polimento

O comportamento mecânico dos agregados é importante para avaliar a sua resistência. Os agregados devem ser duros, resistentes ao choque, ao atrito entre partículas e ao desgaste provocado, não só pela passagem dos veículos, mas também pelas acções a que os agregados são sujeitos durante o fabrico, a aplicação e, a compactação das camadas de misturas betuminosas (Matos, 2005; Pestana, 2008).

Os agregados usados nas camadas de desgaste devem ter, ainda, uma textura rugosa e ser capazes de a manter após a entrada em serviço - resistência ao polimento acelerado - para garantir um adequado coeficiente de atrito entre o pneu e o pavimento (Matos, 2005).

Em geral, a resistência dos agregados é caracterizada pelo ensaio de resistência à fragmentação, e pelo ensaio de polimento acelerado (Branco *et al.*, 2005).

2.5.6. Massa Volúmica e Absorção de Água

A massa volúmica dos agregados é importante para determinar as relações entre a massa e o volume das misturas e também, para calcular a baridade máxima teórica destas (Matos, 2005).

2.5.7. Filer

Segundo o Caderno de Encargos tipo da Estradas de Portugal S. A. (CEEP), designa-se por filer “todo o agregado cuja maior parte passa no peneiro de 0,063 mm e que pode ser adicionado aos materiais de construção para lhes conferir certas propriedades” (EP, 2009).

O filer presente nas misturas betuminosas forma, com o betume, um “mastique” que liga as restantes partículas (Freire, 2004), preenche os vazios e rigidifica a mistura betuminosa, permitindo assim, obter uma mistura densa, durável e com melhor resistência (Freire, 2004; Matos, 2005).

2.5.8. Outras Propriedades

Nas especificações dos agregados podem ainda ser incluídas outras propriedades, relacionadas com as características químicas, térmicas e de meteorização dos agregados.

A resistência ao desgaste provocado por pneus com correntes, e às alterações provocadas pelos ciclos de gelo - degelo pode ser importante nos países com invernos rigorosos, assim como a determinação do teor em conchas quando os agregados são provenientes de depósitos de origem marinha (Matos, 2005).

As propriedades dos agregados têm valores específicos e diferentes para cada situação de aplicação. Os valores mínimos e máximos admitidos estão especificados nos cadernos de encargos das obras de pavimentação (Freire, 2004; Matos, 2005).

Capítulo 3

Situação Actual da Exploração de Agregados em Portugal

Segundo dados de Sobreiro (2006), relativos ao período de 2001 a 2005, conclui-se que em Portugal a produção de agregados para a construção é bastante superior à produção de substâncias minerais metálicas, não só em termos de volume, mas também em termos de valor de produção.

3.1. Volume e Valor de Produção

As areias são consideradas, por muitos, com pouco interesse e baixo valor económico. Para os produtores de outras matérias-primas minerais, os produtores de areias são mesmo alvo de consideração depreciativa (Velho *et al.*, 1998). No entanto, as areias têm bastante importância, não só pelo volume (Figura 3.1) e valor de produção (Figura 3.2) que lhes está associado, mas também pela diversidade dos campos de aplicação (construção civil e obras públicas, fabrico de vidro, fundição, entre outros) (Velho *et al.*, 1998).

Em Portugal, e de acordo com Matos (2005), o grande consumo de agregados, aplicados na construção de pavimentos rodoviários, resulta da britagem de rochas carbonatadas (maior volume de produção) e de rochas graníticas (maior valor de produção).

Situação Actual da Exploração de Agregados em Portugal

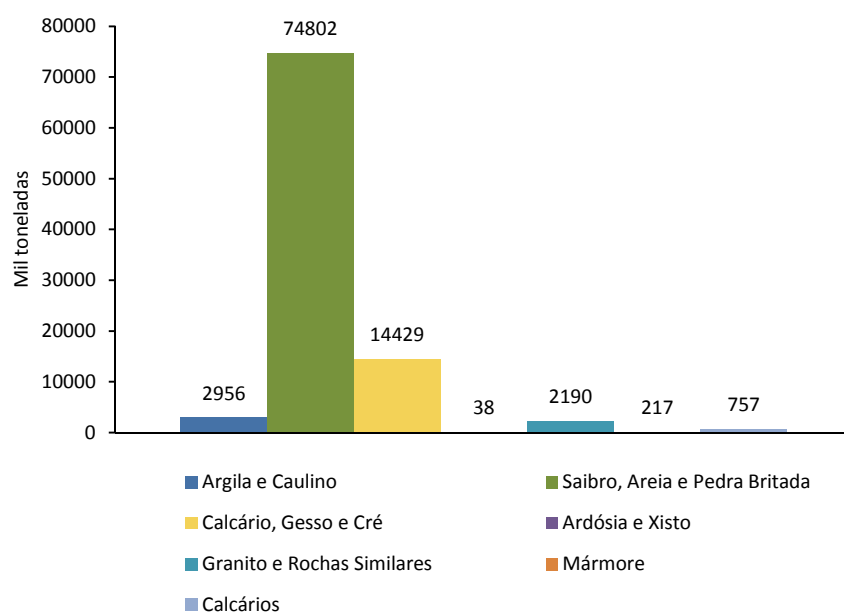


Figura 3.1 - Volume de produção de agregados em Portugal em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

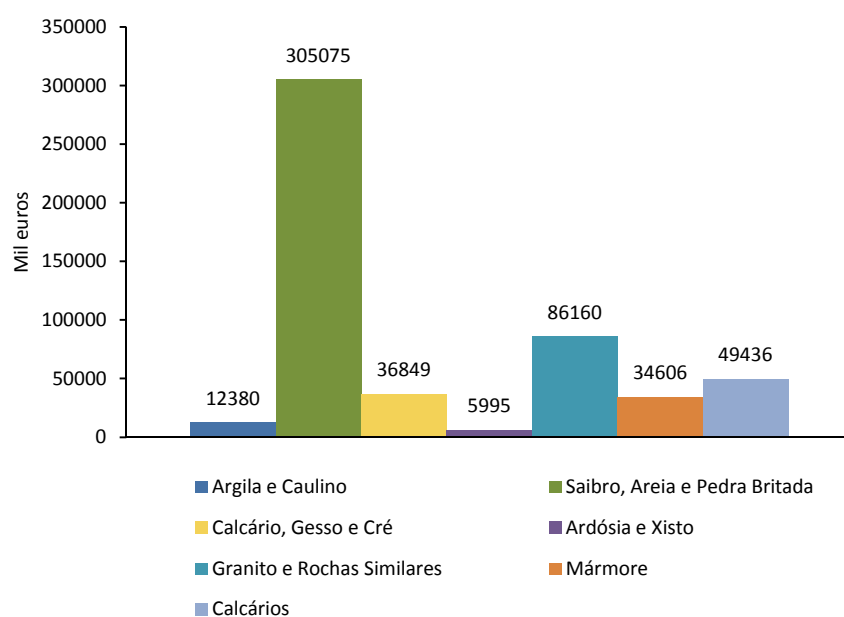


Figura 3.2 - Valor de produção de agregados em Portugal em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

3.2. Distribuição da Indústria Extractiva de Agregados em Portugal

Na Figura 3.3 está representada a distribuição dos volumes de produção de agregados pelos distritos de Portugal em 2007, segundo dados da Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG) (DGEG, 2010).

Os principais centros de produção de agregados de natureza granítica ocorrem nos distritos do Porto, Viana do Castelo, Vila Real, Viseu, Braga e Guarda, associados às muitas pedreiras localizadas nos extensos maciços graníticos do norte do país.

A produção de agregados a partir de rochas calcárias ocorre nos distritos de Coimbra, Lisboa, Leiria, Setúbal, Santarém e Faro.

Os distritos de Portalegre, Évora, Bragança, Castelo Branco, Beja, Guarda e Vila Real caracterizam-se por uma baixa produção de agregados. Esta situação pode ser explicada, segundo Matos (2005), citando Carvalho (2003), pela falta de vias de comunicação e de fixação das populações, e, ainda, pelo fraco desenvolvimento do tecido urbano (de que são exemplos os distritos de Beja, Guarda e Castelo Branco).

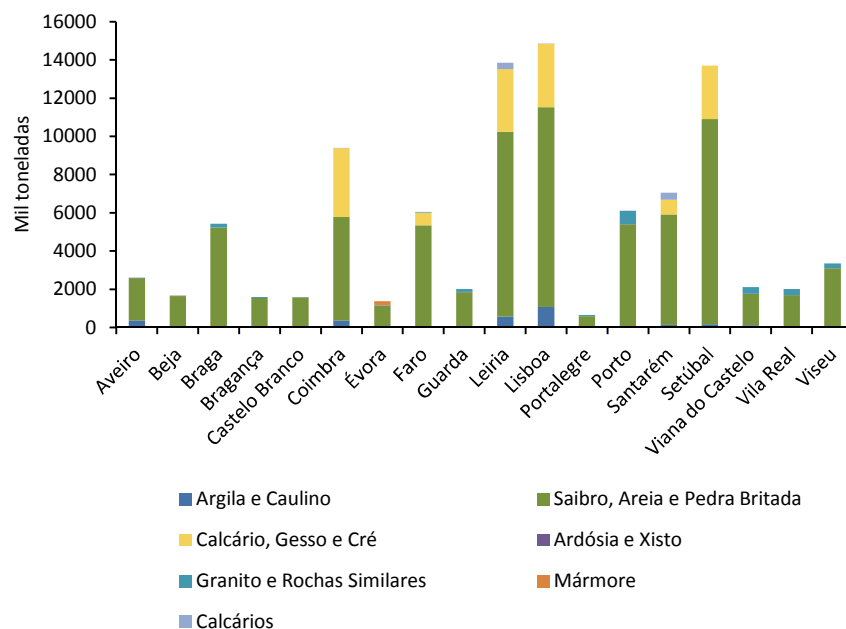


Figura 3.3 - Distribuição dos volumes de produção de agregados nos diferentes distritos de Portugal em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Em seguida, são analisados os volumes e os valores de produção de agregados nas várias regiões de Portugal no ano de 2007.

Nas Figuras 3.4 a 3.13 apenas estão representados os tipos de agregados que têm expressão gráfica. No entanto, no texto são apresentados os volumes e os valores de produção de todos os tipos de agregados explorados nas várias regiões.

Os gráficos apresentados foram elaborados segundo dados da DGEG.

3.2.1. Região Norte

A Região Norte compreende os distritos de Braga, Bragança, Porto, Viana do Castelo e Vila Real e, alguns concelhos dos distritos de Aveiro, Guarda e Viseu.

O volume de produção de agregados na Região Norte em 2007 foi de 17 349 000 toneladas (Tabela 3.1).

O grupo do saibro, areia e pedra britada é explorado nos distritos do Porto (5 386 000 ton), Braga (5 203 000 ton), Viana do Castelo (1 641 000 ton), Vila Real (1 619 000 ton) e Bragança (1 547 000 ton) e é o que apresenta o maior volume e o maior valor de produção.

Além do saibro, areia e pedra britada, é explorado granito em todos os distritos da Região Norte. O granito tem um volume de produção baixo, relativamente ao saibro, areia e pedra britada, mas um elevado valor de produção.

A argila e o caulino são explorados nos distritos de Viana do Castelo (124 000 ton), Vila Real (77 000 ton), Braga (18 000 ton) e Porto (8 000 ton).

São ainda explorados, embora com menor importância em termos de volume de produção, outros recursos minerais como ardósia e xisto, nos distritos da Guarda (18 000 ton) e Porto (16 000 ton).

Os calcários são explorados apenas no distrito do Porto.

O valor de produção de agregados na Região Norte em 2007 foi de 143 880 000 euros (Tabela 3.1).

O distrito do Porto é o que tem o valor de produção mais elevado com 51 975 000 euros e o distrito de Aveiro é o que apresenta o mais baixo valor de produção (338 000 euros).

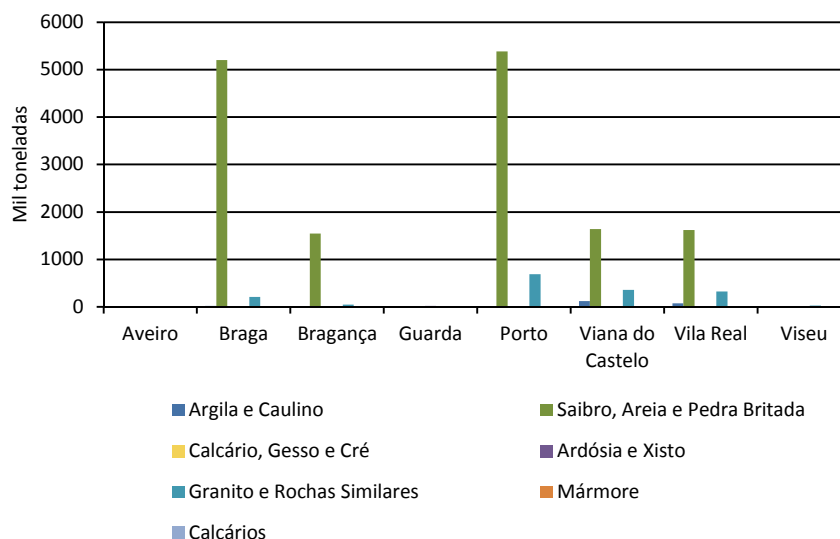


Figura 3.4 - Volume de produção de agregados na Região Norte em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

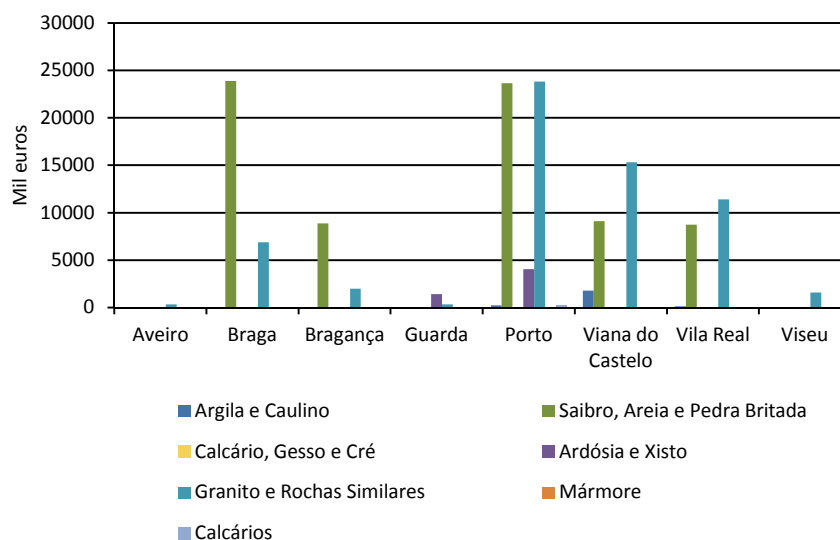


Figura 3.5 - Valor de produção de agregados na Região Norte em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Tabela 3.1 - Volume e valor de produção de agregados na Região Norte em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Argila e Caulino	227	2 187
Saibro, Areia e Pedra Britada	15 396	74 294
Calcário, Gesso e Cré	0	0
Ardósia e Xisto	34	5 447
Granito e Rochas Similares	1 675	61 714
Mármore	0	0
Calcários	17	238
Total	17 349	143 880

3.2.2. Região Centro

A Região Centro compreende os distritos de Castelo Branco, Coimbra e Leiria e, alguns concelhos dos distritos de Aveiro, Guarda e Viseu.

Em 2007, o volume de produção de agregados na Região Centro foi de 30 700 000 toneladas (Tabela 3.2).

O grupo do saibro, areia e pedra britada é explorado em todos os distritos da Região Centro e é o que apresenta o maior volume e o maior valor de produção.

O grupo do calcário, gesso e cré é, a seguir ao do saibro, areia e pedra britada, o que tem maior volume de produção, apesar de ser explorado apenas nos distritos de Coimbra (3 593 000 ton) e Leiria (2 057 000 ton).

A argila e o caulino são explorados nos distritos de Leiria (452 000 ton), Coimbra (376 000 ton) e Aveiro (365 000 ton).

São também explorados, com menor importância em termos de volume, mas maior valor de produção, granito e rochas similares. A exploração de granito e rochas similares dá-se nos distritos de Viseu (233 000 ton), Guarda (136 000 ton) e Castelo Branco (2 000 ton).

Os calcários são explorados nos distritos de Leiria (312 000 ton) e Coimbra (9 000 ton) e são, a seguir ao grupo do saibro, areia e pedra britada, os que têm maior valor de produção.

A ardósia e o xisto são explorados apenas no distrito de Aveiro e o seu volume é insignificante (4 000 ton).

O distrito de Leiria é o que apresenta maior volume de produção (11 849 000 ton) e os distritos de Castelo Branco (1 576 000 ton) e Guarda (1 978 000 ton) os volumes de produção mais baixos.

Em 2007, o valor de produção de agregados na Região Centro foi de 133 429 000 euros (Tabela 3.2).

O distrito de Leiria é o que tem o valor de produção mais elevado com 53 181 000 euros e o distrito de Castelo Branco é o que apresenta o mais baixo valor de produção (5 547 000 euros).

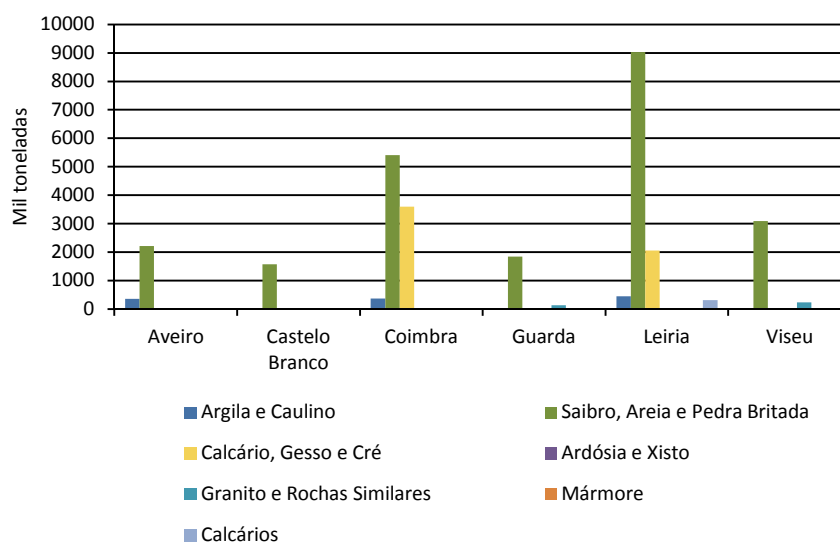


Figura 3.6 - Volume de produção de agregados na Região Centro em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

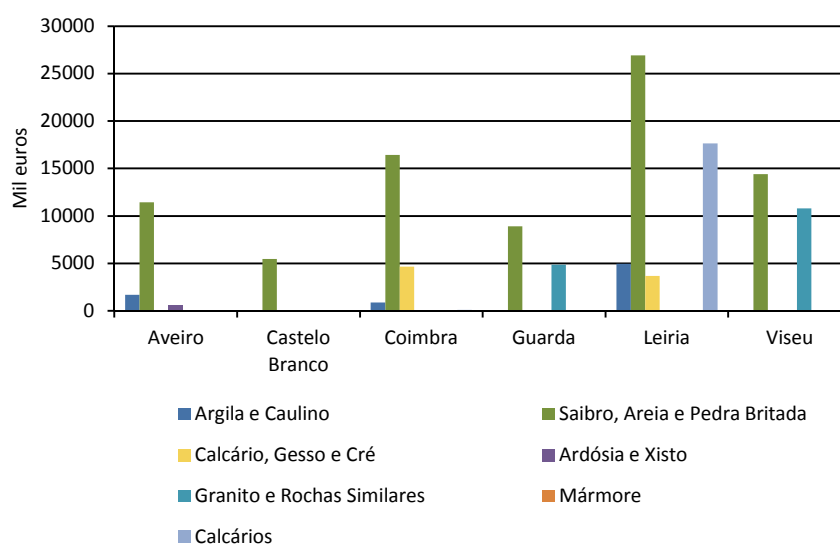


Figura 3.7 - Valor de produção de agregados na Região Centro em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Tabela 3.2 - Volume e valor de produção de agregados na Região Centro em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Argila e Caulino	1 193	7 519
Saibro, Areia e Pedra Britada	23 161	83 580
Calcário, Gesso e Cré	5 650	8 338
Ardósia e Xisto	4	547
Granito e Rochas Similares	371	15 728
Mármore	0	0
Calcários	321	17 717
Total	30 700	133 429

3.2.3. Região de Lisboa e Vale do Tejo

A Região de Lisboa e Vale do Tejo compreende os distritos de Lisboa e Santarém e, alguns concelhos dos distritos de Leiria e Setúbal.

O volume de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007 foi de 34 222 000 toneladas (Tabela 3.3).

O grupo do saibro, areia e pedra britada é explorado em todos os distritos da Região de Lisboa e Vale do Tejo e é o que apresenta o maior volume e o maior valor de produção.

O grupo do calcário, gesso e cré é, a seguir ao do saibro, areia e pedra britada, o que tem maior volume de produção. A exploração de calcário, gesso e cré dá-se em todos os distritos da região.

São também explorados em todos os distritos, mas com menor importância em termos de valor de produção, argila e caulino.

Na região de Lisboa e Vale do Tejo, os calcários são os que apresentam menor volume de produção, embora com grande importância em termos de valor de produção. Apenas o grupo do saibro, areia e pedra britada tem um valor de produção maior. Os calcários são explorados nos distritos de Santarém (376 000 ton), Leiria (16 000 ton) e Lisboa (12 000 ton).

O valor de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007 foi de 156 329 000 euros (Tabela 3.3).

O distrito de Santarém é o que tem o valor de produção mais elevado com 65 667 000 euros e o distrito de Leiria é o que apresenta o mais baixo valor de produção (14 183 000 euros).

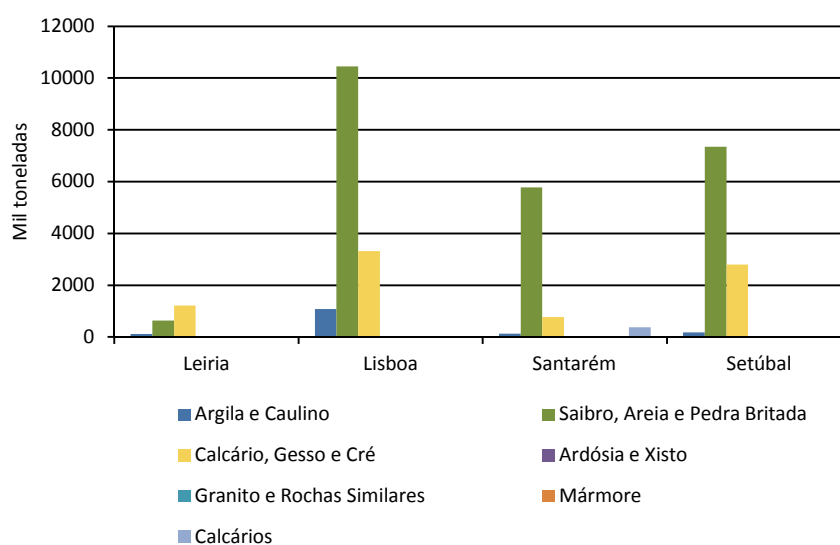


Figura 3.8 - Volume de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

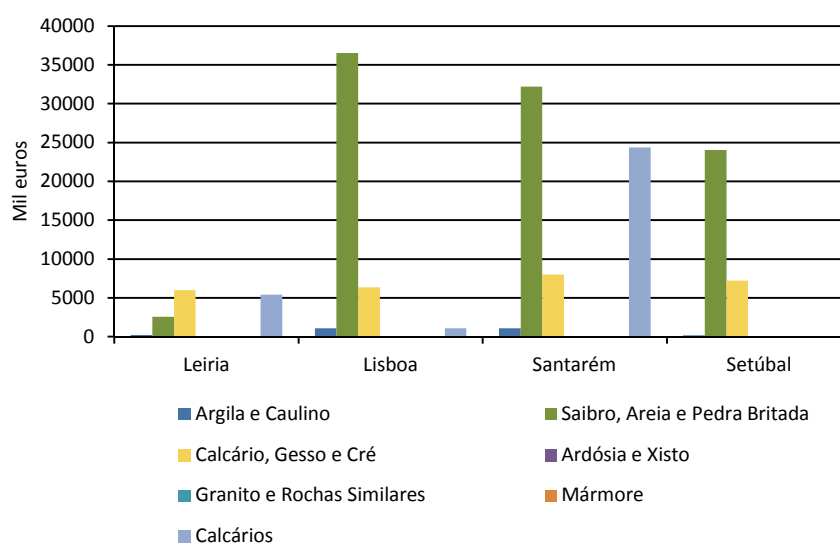


Figura 3.9 - Valor de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Tabela 3.3 - Volume e valor de produção de agregados na Região de Lisboa e Vale do Tejo em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Argila e Caulino	1 503	2 609
Saibro, Areia e Pedra Britada	24 203	95 310
Calcário, Gesso e Cré	8 112	27 562
Ardósia e Xisto	0	0
Granito e Rochas Similares	0	0
Mármore	0	0
Calcários	404	30 848
Total	34 222	156 329

3.2.4. Região do Alentejo

A Região do Alentejo compreende os distritos de Beja, Évora, Portalegre e, alguns concelhos do distrito de Setúbal.

Em 2007, o volume de produção de agregados na Região do Alentejo foi de 7 065 000 toneladas (Tabela 3.4).

O grupo do saibro, areia e pedra britada é explorado em todos os distritos da Região do Alentejo e é o que apresenta o maior volume de produção.

É também explorado, com menor importância em termos de volume, mas maior valor de produção o mármore. O mármore é explorado, quase na sua totalidade, no distrito de Évora. No distrito de Beja, a sua exploração é insignificante (1 000 ton).

São ainda explorados, embora com menor importância em termos de volume e de valor de produção, outros recursos minerais como granito e rochas similares, nos distritos de Portalegre (57 000 ton), Évora (39 000 ton) e Beja (18 000 ton).

O distrito de Portalegre é o que apresenta menor volume (653 000 ton) e menor valor de produção (6 358 000 ton) e o distrito de Setúbal é o que tem maior volume de produção (3 380 000 ton).

Em 2007, o valor de produção de agregados na Região do Alentejo foi de 69 086 000 euros (Tabela 3.4).

O distrito de Évora é o que tem o valor de produção mais elevado com 41 002 000 euros e o distrito de Portalegre é o que apresenta o mais baixo valor de produção (6 358 000 ton).

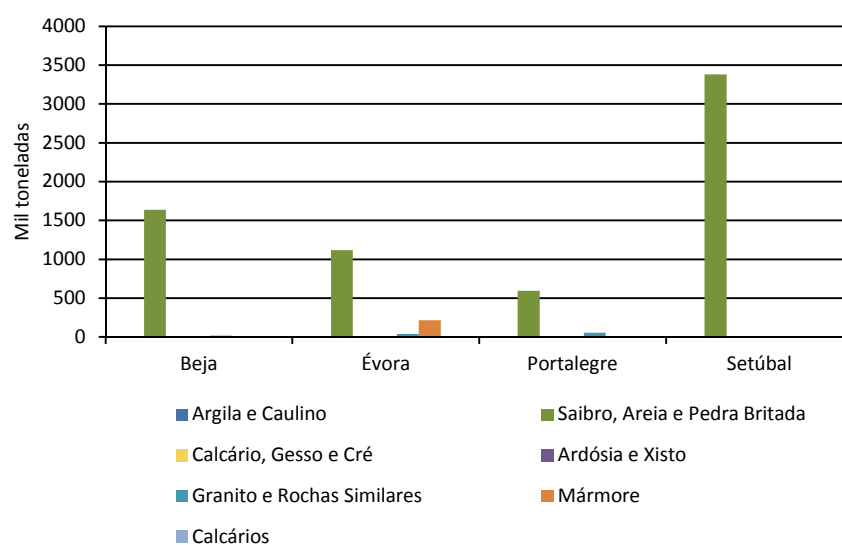


Figura 3.10 - Volume de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

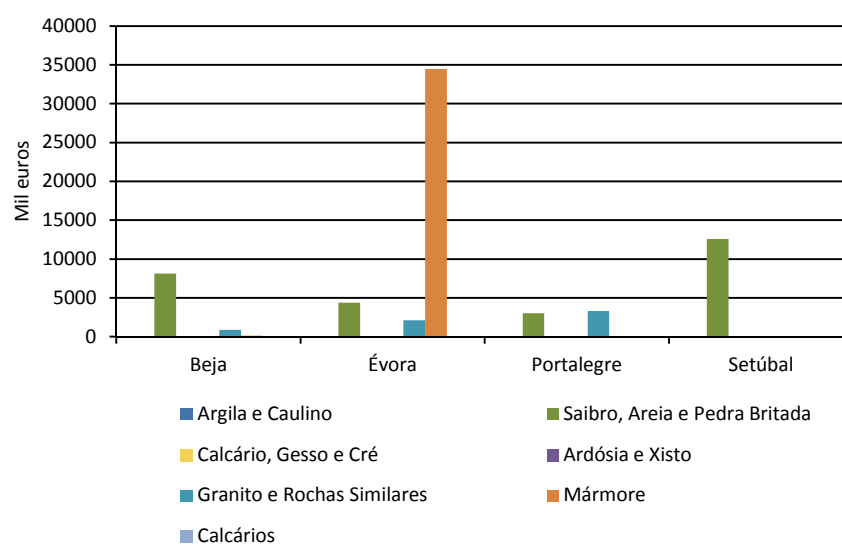


Figura 3.11 - Valor de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Tabela 3.4 - Volume e valor de produção de agregados na Região do Alentejo em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Argila e Caulino	0	0
Saibro, Areia e Pedra Britada	6 734	28 146
Calcário, Gesso e Cré	0	0
Ardósia e Xisto	0	0
Granito e Rochas Similares	114	6 334
Mármore	217	34 606
Calcários	0	0
Total	7 065	69 086

3.2.5. Região do Algarve

O volume de produção de agregados na Região do Algarve em 2007 foi de 6 052 000 toneladas (Tabela 3.5).

O grupo do saibro, areia e pedra britada é o que apresenta o maior volume e o maior valor de produção.

O grupo do calcário, gesso e cré é, a seguir ao do saibro, areia e pedra britada, o que tem maior volume de produção.

A argila e o caulino apresentam o valor de produção mais baixo (64 000 euros).

São também explorados, com menor importância em termos de volume (30 000 ton), mas maior valor de produção, granito e rochas similares.

São ainda explorados outros recursos minerais como os calcários mas com menor importância em termos de volume de produção (15 000 ton).

O valor de produção de agregados na Região do Algarve em 2007 foi de 27 773 000 euros (Tabela 3.5).

Controlo de Qualidade de Agregados Finos de Misturas Betuminosas

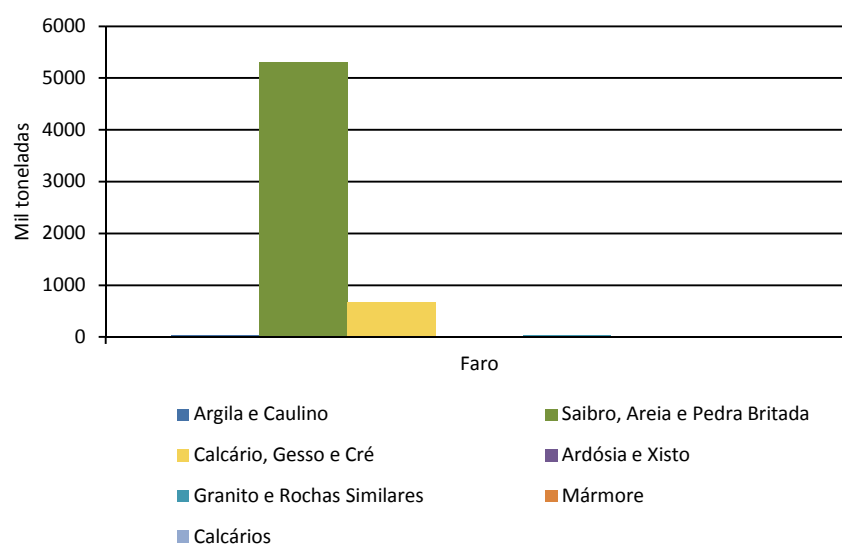


Figura 3.12 - Volume de produção de agregados na Região do Algarve em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

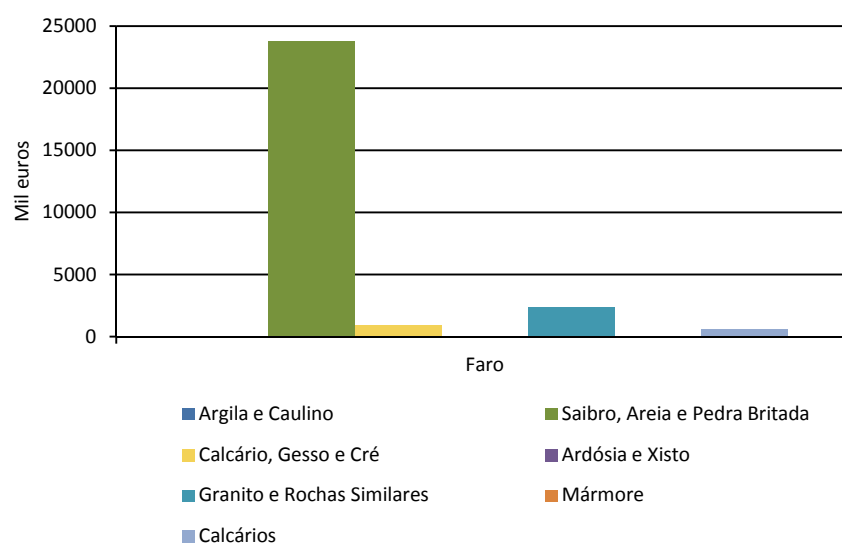


Figura 3.13 - Valor de produção de agregados na Região do Algarve em 2007 (adaptado de DGEG, 2010)

Tabela 3.5 - Volume e valor de produção de agregados na Região do Algarve em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Argila e Caulino	32	64
Saibro, Areia e Pedra Britada	5 309	23 745
Calcário, Gesso e Cré	666	948
Ardósia e Xisto	0	0
Granito e Rochas Similares	30	2 384
Mármore	0	0
Calcários	15	632
Total	6 052	27 773

A Região de Lisboa e Vale do Tejo é a que tem o volume de produção de agregados mais elevado e a Região do Algarve é a que apresenta o menor volume de produção.

A Região de Lisboa e Vale do Tejo é também a que tem maior valor de produção e a Região do Algarve a que apresenta o valor de produção mais baixo.

A Região Norte é a que apresenta uma melhor relação entre os volumes extraídos e os valores de produção de agregados.

Tabela 3.6 - Volume e valor de produção de agregados nas várias regiões de Portugal em 2007

Produção	Volume (mil toneladas)	Valor (mil euros)
Região Norte	17 349	143 880
Região Centro	30 700	133 429
Região de Lisboa e Vale do Tejo	34 222	156 329
Região do Alentejo	7 065	69 086
Região do Algarve	6 052	27 773
Total	95 388	530 497

Capítulo 4

Enquadramento Normativo

4.1. Normalização Europeia e Marcação CE

A Directiva dos Produtos de Construção é uma das mais importantes Directivas da Nova Abordagem que, segundo Paiva (2002, p. 2), se destinam a “(...) enquadrar o funcionamento do mercado interno europeu dos produtos a que respeitam, criando condições para a sua livre circulação no Espaço Económico Europeu”.

O objectivo destas Directivas, segundo Paiva (2005), é estabelecer as exigências essenciais de segurança, saúde e protecção do ambiente que cada produto requer. Assim, estas remetem para especificações técnicas que devem ser elaboradas por entidades competentes (ou seja, a definição dos requisitos a que devem satisfazer as características desses produtos).

As especificações técnicas previstas na Directiva dos Produtos de Construção que tornam possível a marcação CE dos produtos podem ser de três tipos (Paiva, 2002):

- Normas harmonizadas
- Aprovações técnicas europeias
- Normas nacionais reconhecidas a nível comunitário

A elaboração das normas harmonizadas está a cargo das Organizações Europeias de normalização como resultado de mandatos concedidos pela Comissão Europeia em ligação com uma determinada Directiva comunitária, neste caso concreto, a Directiva dos Produtos de Construção (Paiva, 2002).

Paiva (2002; 2005) refere que, segundo os princípios da Nova Abordagem, a aposição da marcação CE nos produtos garante que os mesmos se encontram em conformidade com as especificações técnicas aplicáveis, conformidade essa comprovada por procedimentos adequados. Adicionalmente, a marcação CE assegura que os produtos estão aptos a serem usados e que os mesmos cumprem as disposições da Directiva, o que permite que circulem livremente no Espaço Económico Europeu (excepto se surgirem suspeitas fundadas do contrário).

A Directiva dos Produtos de Construção define um conjunto de métodos - o ensaio de tipo inicial do produto pelo fabricante ou por um Organismo Notificado, o controlo interno de produção pelo fabricante, o acompanhamento, a avaliação e a apreciação permanentes desse controlo interno por um Organismo Notificado - para a comprovação da conformidade dos produtos com as especificações técnicas, necessária para a marcação CE (Paiva, 2005).

Da combinação desses métodos resultam seis sistemas de comprovação de conformidade (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Sistemas de comprovação de conformidade como base para a marcação CE (Paiva, 2002)

Sistema	Tarefas do fabricante	Tarefas do Organismo Notificado	Base para a marcação CE
1 ⁺	Controlo interno de produção Ensaio de amostras segundo programa prescrito	Certificação do produto com base em Ensaio inicial de tipo Inspeção inicial do controlo interno de produção Acompanhamento permanente do controlo interno de produção Ensaio aleatório de amostras	Declaração de conformidade pelo fabricante com base num certificado de conformidade do produto
1	Controlo interno de produção Ensaio de amostras segundo programa prescrito	Certificação do produto com base em Ensaio inicial de tipo Inspeção inicial do controlo interno de produção Acompanhamento permanente do controlo interno de produção	
2 ⁺	Ensaio inicial de tipo Controlo interno de produção (Ensaio de amostras segundo programa prescrito)	Certificação do controlo interno de produção com base numa inspeção inicial e no acompanhamento permanente desse controlo	Declaração de conformidade pelo fabricante com base num certificado de conformidade do controlo interno de produção
2	Ensaio inicial de tipo Controlo interno de produção (Ensaio de amostras segundo programa prescrito)	Certificação do controlo interno de produção com base numa inspeção inicial	
3	Controlo interno de produção	Ensaio inicial de tipo	Declaração de conformidade pelo fabricante
4	Ensaio inicial de tipo Controlo interno de produção	-	

O sistema de comprovação de conformidade é decidido pela Comunidade Europeia e tem em conta aspectos como a importância e a natureza dos produtos, a variabilidade das suas características e a sua susceptibilidade em relação a defeitos de fabrico.

Segundo a Directiva dos Produtos de Construção, quando há mais do que um sistema, adequado para o mesmo produto, a escolha deve recair sobre o sistema menos oneroso (Paiva, 2005).

No sistema de comprovação de conformidade, aplicado aos agregados, o procedimento inclui uma declaração de conformidade emitida pelo fabricante com base num certificado de conformidade do controlo interno de produção emitido por um Organismo Notificado (Lopes, 2010).

Com excepção do sistema 4, onde a responsabilidade das tarefas a realizar é exclusivamente do fabricante, em todos os outros intervêm Organismos Notificados.

Os Organismos Notificados, em função das tarefas a realizar, podem ser de três tipos (Paiva, 2005):

- Organismos de certificação (dependendo dos casos estes Organismos de certificação são designados ou para as funções de conformidade dos produtos ou para as funções de certificação do controlo interno de produção);
- Organismos de inspecção;
- Laboratórios de ensaio.

4.2. Normas Europeias para Ensaaios em Agregados

As normas de ensaio para agregados estão organizadas em cinco grupos. Cada grupo corresponde a um conjunto de ensaios para a caracterização de uma determinada propriedade. Cada um dos grupos anteriormente referido é constituído por diferentes partes, correspondendo cada uma delas a um ensaio específico (Matos *et al.*, 2006).

O primeiro grupo de normas de ensaio é constituído por normas que definem os métodos para a caracterização dos agregados como, os métodos de recolha e preparação de amostras e de descrição petrográfica da rocha utilizada como agregado (Tabela 4.2). Para além dessas, estão

ainda incluídas neste grupo duas normas relacionadas com o controlo metrológico dos equipamentos utilizados e com a fiabilidade dos métodos de ensaio.

Tabela 4.2 - Ensaaios para a determinação das propriedades gerais dos agregados

EN 932	Propriedades gerais dos agregados
Parte 1	Métodos de amostragem NP EN 932-1:2002
Parte 2	Métodos de redução de amostras laboratoriais NP EN 932-2:2002
Parte 3	Métodos e terminologia para a descrição petrográfica simplificada NP EN 932-3:2002
Parte 5	Equipamento comum e calibração NP EN 932-5:2003
Parte 6	Definições de reprodutibilidade e reprodutibilidade NP EN 932-6:2002

O segundo grupo de normas é composto por normas que especificam os métodos de determinação das propriedades geométricas dos agregados (Tabela 4.3). Neste grupo estão ainda incluídos os ensaios de determinação do teor de finos dos agregados.

Tabela 4.3 - Ensaaios para a determinação das propriedades geométricas dos agregados

EN 933	Propriedades geométricas dos agregados
Parte 1	Análise granulométrica. Método de peneiração NP EN 933-1:2000
Parte 2	Determinação da distribuição granulométrica. Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas NP EN 933-2:1999
Parte 3	Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento. NP EN 933-3:2002
Parte 4	Determinação da forma das partículas. Índice de forma. NP EN 933-4:2002
Parte 5	Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos NP EN 933-5:2002
Parte 6	Determinação do coeficiente de escoamento dos agregados NP EN 933-6
Parte 7	Determinação do teor de conchas. Percentagem de conchas nos agregados grossos NP EN 933-7:2002
Parte 8	Determinações do teor de finos. Ensaio do equivalente de areia NP EN 933-8:2002
Parte 9	Determinações do teor de finos. Ensaio do azul de metileno NP EN 933-9:2002
Parte 10	Avaliação dos finos. Granulometria dos fileres (peneiração por jacto de ar) NP EN 933-10:2003

Alguns dos ensaios de caracterização da forma das partículas, como o índice de lamelação e o índice de alongamento, não estão incluídos neste grupo mas podem ser substituídos pelo índice de achatamento e pelo índice de forma.

No terceiro grupo são definidas as normas de ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados (Tabela 4.4). É neste grupo que estão os ensaios de determinação da resistência e do polimento.

Tabela 4.4 - Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas e físicas dos agregados

EN 1097	Propriedades mecânicas e físicas dos agregados
Parte 1	Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval) NP EN 1097-1:2002
Parte 2	Método de determinação da resistência à fragmentação NP EN 1097-2:2000
Parte 3	Determinação da baridade e do volume de vazios NP EN 1097-3:2002
Parte 4	Determinação dos vazios do filer seco compacto NP EN 1097-4:2003
Parte 5	Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada NP EN 1097-5:2002
Parte 6	Determinação da massa volúmica e da absorção de água NP EN 1097-6:2003
Parte 7	Determinação da massa volúmica do filer. Método do picnómetro NP EN 1097-7:2002
Parte 8	Determinações do coeficiente de polimento NP EN 1097-8:2003
Parte 9	Determinações da resistência ao desgaste provocado por pneus com correntes. Ensaio nórdico. NP EN 1097-9:2002

O quarto grupo é composto por normas que especificam os ensaios para a determinação das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados (Tabela 4.5). Estes ensaios são aplicados, apenas, em casos muito específicos. Têm uma utilização restrita em Portugal.

Tabela 4.5 - Ensaios para a determinação das propriedades térmicas e de meteorização dos agregados

EN 1367	Propriedades térmicas e de meteorização dos agregados
Parte 1	Determinação da resistência ao gelo - degelo NP EN 1367-1:2003
Parte 2	Ensaio do sulfato de magnésio NP EN 1367-2:1998
Parte 3	Ensaio de ebulição para basaltos “sonnenbrand” NP EN 1367-3:2003
Parte 4	Determinação da retracção por secagem NP EN 1367-4:2002
Parte 5	Determinação de resistência ao choque térmico NP EN 1367-5:2002

O quinto grupo de normas de ensaio define os métodos para a determinação das propriedades químicas dos agregados (Tabela 4.6). É aplicado nos betões e nos agregados reciclados (Matos *et al.*, 2006).

Tabela 4.6 - Ensaios para a determinação das propriedades químicas dos agregados

EN 1744	Propriedades químicas dos agregados
Parte 1	Análise química NP EN 1744-1:2000
Parte 2	Determinação da resistência à reacção álcali - agregado NP EN 1744-2
Parte 3	Preparação de eluatos por lixiviação dos agregados NP EN 1744-3:2003
Parte 4	Determinação da susceptibilidade à água dos fileres para misturas betuminosas NP EN 1744-4
Parte 5	Determinação dos sais de cloretos solúveis em ácido NP EN 1744-5
Parte 6	Determinação da influência do extracto dos agregados no tempo de início de presa do cimento NP EN 1744-6

4.3. Ensaios para Agregados anteriores às Normas Europeias

Os primeiros ensaios, para avaliação das propriedades dos agregados, eram realizados sobre provetes isolados de rocha, com o objectivo de determinar as propriedades dessa rocha como material rodoviário. Contudo, verificou-se que as propriedades dos agregados são, muitas vezes, diferentes das propriedades da rocha de que resultaram.

Assim, os ensaios mais utilizados são realizados sobre os agregados, tal como estes vão ser usados em obra (Pereira, 1971; Matos, 2005).

Capítulo 5

Caracterização de Agregados Finos

Para este estudo foram seleccionados dois agregados, um de Granito e outro de Calcário, e dois contaminantes, o Caulino e a Argila Vermelha ou “Terra Rossa” (Figura 5.1), usados para contaminar em laboratório os agregados de Granito e de Calcário, respectivamente. Estes contaminantes são os mais frequentes nestes tipos de agregados. Foi feita a sua caracterização laboratorial de acordo com a normativa europeia na perspectiva da aplicação destes agregados em misturas betuminosas. Foram realizados ensaios correntes para avaliação das propriedades dos agregados - análise granulométrica, equivalente de areia, azul de metileno, limites de consistência, análise mineralógica através da difracção de raio-X e determinação da densidade das partículas.



Figura 5.1 - Aspecto dos materiais caracterizados

5.1. Análise Granulométrica

A análise granulométrica dos agregados foi feita por peneiração, segundo a norma portuguesa NP EN 933-1:2000 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica”.

Após a lavagem e secagem até massa constante, o agregado é passado por uma série de peneiros com abertura progressivamente decrescente. O material retido em cada peneiro é pesado e relacionado com a massa inicial da amostra. Com a percentagem cumulativa de material passado em cada um dos peneiros é possível construir a curva granulométrica. A curva granulométrica é um elemento importante que permite identificar a falta de partículas de determinada dimensão no material e corrigir a sua granulometria se necessário.

Na Figura 5.2 apresenta-se o aspecto dos peneiros com 8,0 mm e 4,0 mm de abertura utilizados no ensaio da análise granulométrica.



Figura 5.2 - Aspecto dos peneiros com 8,0 mm e 4,0 mm de abertura utilizados no ensaio da análise granulométrica

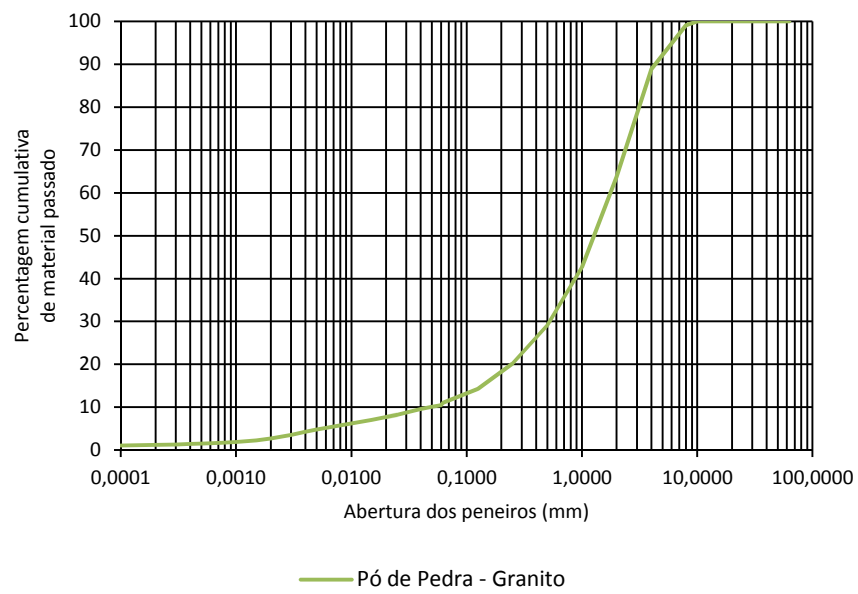
Os valores da massa de material retido em cada peneiro, da massa de finos e o seu somatório apresentam-se nas Figuras I.1 a I.3 do Anexo I.

A diferença entre a massa total da amostra após peneiração e, a massa seca da amostra após lavagem deve ser inferior a 1 %, de modo a que a perda de material durante o ensaio não seja significativa.

A análise granulométrica das partículas inferiores a 63 μm é feita por sedimentação - o tamanho das partículas é avaliado através da velocidade com que elas se afundam no interior de uma solução aquosa. No entanto, o conhecimento da granulometria destas partículas não é necessário para os trabalhos de pavimentação rodoviária.

A análise granulométrica da fracção fina dos materiais foi realizada pelo Laboratório de raio-X do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, apresentando-se os resultados nas Figuras I.4 a I.7 do Anexo I.

Nas Figuras 5.3 a 5.6 apresentam-se as curvas granulométricas das diferentes amostras ensaiadas.



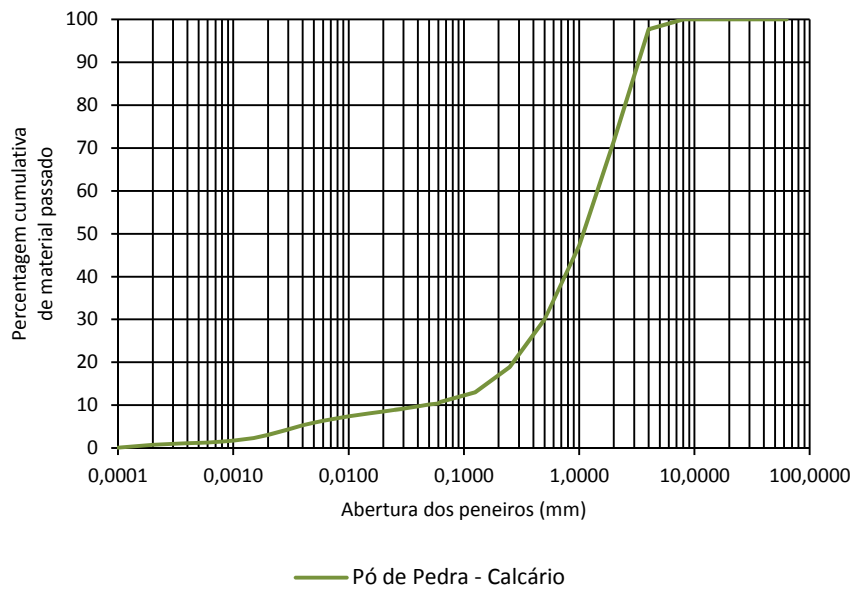


Figura 5.5 - Curva granulométrica do Pó de Pedra de Calcário

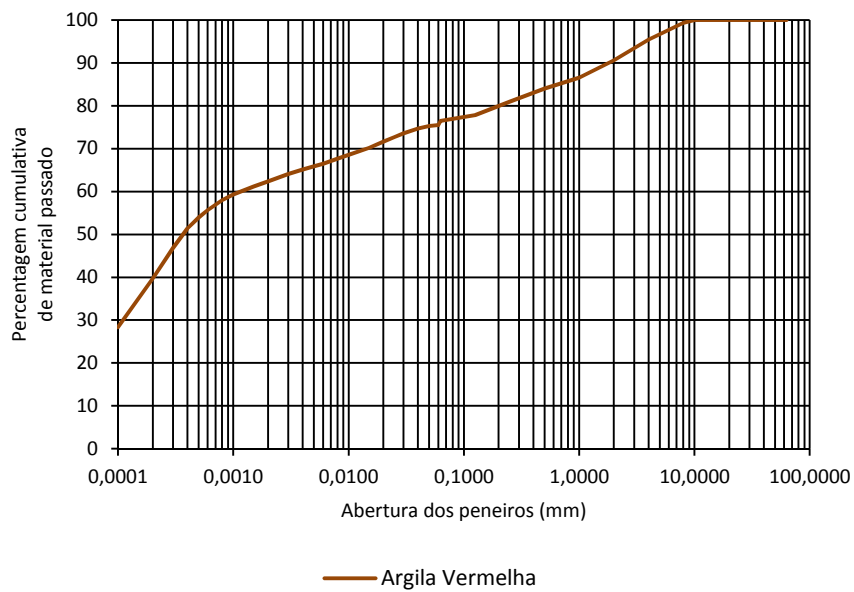


Figura 5.6 - Curva granulométrica da Argila Vermelha

5.2. Determinação do Teor de Finos

A presença de materiais que dificultam o envolvimento dos agregados pelo ligante, que reagem com a água ou de natureza orgânica, nas misturas betuminosas pode prejudicar o seu desempenho (Matos, 2005).

Assim, os agregados devem ser limpos e não ter impurezas que possam reduzir o atrito entre as partículas, originar variações volumétricas com a presença de água ou dificultar o envolvimento dos agregados pelo ligante (Branco *et al.*, 2005).

5.2.1. Equivalente de Areia

A determinação do equivalente de areia dos agregados foi feita segundo a norma portuguesa NP EN 933-8:2002 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia”.

Numa proveta são colocados “um provete de areia e uma pequena quantidade de solução floculante e agitados de modo a libertar as camadas de argila das partículas de areia do provete” (NP EN 933-8:2002, p. 7). Em seguida, é adicionada “mais solução floculante, forçando as partículas mais pequenas a entrar em suspensão acima da areia. Passados 20 minutos, o valor equivalente de areia é calculado pela altura do sedimento expressa como uma percentagem da altura total do material floculado na proveta cilíndrica” (NP EN 933-8:2002, p. 7).

Os valores obtidos no ensaio do equivalente de areia podem variar entre 0 nas argilas e 100 nas areias limpas sendo que para valores inferiores a 20, o ensaio deixa de ter significado sendo necessário determinar os limites de consistência ou o valor do azul de metileno. Os solos podem ser classificados de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Classificação dos solos (Luzia, 2008)

SE (%)	Classificação
SE < 20	Solo plástico
20 < SE < 30	Ensaio não conclusivo
SE > 30	Solo não plástico

O ensaio do equivalente de areia foi realizado apenas para as amostras de Granito e de Calcário. O ensaio foi realizado sobre a fracção 0/2 mm das amostras.

Os resultados deste ensaio apresentam-se resumidamente na Tabela 5.2. Nas Figuras I.8 e I.9 do Anexo I encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

Tabela 5.2 - Resultados do ensaio do equivalente de areia

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-8 Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia	Pó de Pedra - Granito	SE (%)	58
	Pó de Pedra - Calcário		56

Com base nos resultados obtidos verifica-se que as amostras de Granito e de Calcário têm valores de equivalente de areia idênticos.

O material das duas amostras pode ser classificado como não plástico de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.1. Por outro lado, segundo o CEEP os materiais a aplicar em misturas betuminosas devem apresentar valores de equivalente de areia mínimos de 50%. As duas amostras apresentam valores de equivalente de areia superiores podendo os materiais ser utilizados em misturas betuminosas.

5.2.2. Azul de Metileno

A determinação do azul de metileno dos agregados foi feita com base na norma portuguesa NP EN 933-9:2002 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno”.

A uma suspensão em água do provete de ensaio, são adicionados incrementos de uma solução de azul de metileno. Após a adição de cada incremento, a adsorção da solução corante pelo provete “é verificada pela realização de um ensaio de manchas em papel de filtro de modo a detectar a presença de corante livre” (NP EN 933-9:2002, p. 7).

De acordo com a norma, “quando a presença de corante livre é confirmada, o valor de azul de metileno é calculado e expresso em gramas de corante adsorvido por quilograma da fracção granulométrica ensaiada” (NP EN 933-9:2002, p. 7).

Na Figura 5.7 apresenta-se o material de ensaio utilizado na determinação do azul de metileno.



Figura 5.7 - Material utilizado no ensaio do azul de metileno

Os solos podem ser classificados de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Classificação dos solos (Branco et al., 2005)

MB (g/kg)	Classificação
$MB \leq 1$	Solo insensível à água
$1 < MB \leq 2$	Solo muito pouco sensível à água
$2 < MB < 15$	Solo com sensibilidade à água
$MB = 15$	Valor que distingue o solo areno-siltoso do areno-argiloso
$MB = 25$	Valor que distingue o solo siltoso pouco plástico do medianamente plástico
$MB = 60$	Valor que distingue o solo siltoso do argiloso
$MB = 80$	Valor que distingue o solo argiloso do solo muito argiloso

O ensaio do azul de metileno foi realizado sobre a fracção 0/2 mm das amostras de Granito e de Calcário. Para as amostras de Caulino e de Argila Vermelha o ensaio foi realizado na fracção 0/0,063 mm.

Os resultados deste ensaio apresentam-se resumidamente na Tabela 5.4. Nas Figuras I.10 a I.13 do Anexo I encontram-se todos os dados relativos ao ensaio do azul de metileno.

Tabela 5.4 - Resultados do ensaio do azul de metileno

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-8 Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno	Pó de Pedra - Granito	MB (g/kg)	0,8
	Caulino		7,3
	Pó de Pedra - Calcário		1,2
	Argila Vermelha		41,6

Verifica-se que o Granito é a amostra que apresenta o valor de azul de metileno mais baixo sendo a Argila Vermelha a amostra que tem o valor mais alto.

O Granito é de acordo com a classificação apresentada na Tabela 5.3 um material insensível à água. O Caulino é um material com sensibilidade à água e o Calcário muito pouco sensível à água.

5.3. Limites de Consistência

A determinação dos limites de consistência foi feita com base na norma NP-143:1969 - "Solos. Determinação dos limites de consistência".

O ensaio foi realizado sobre a fracção 0/0,425 mm das amostras de Caulino e Argila Vermelha.

Nas figuras seguintes apresentam-se a concha de Casagrande e o aspecto da amostra de Caulino usada na determinação dos limites de liquidez e de plasticidade.



Figura 5.8 - Concha de Casagrande



Figura 5.9 - Aspecto da amostra após os ensaios

Na Figura 5.10 apresentam-se os gráficos auxiliares à determinação do limite de liquidez nas amostras de Caulino e Argila Vermelha.

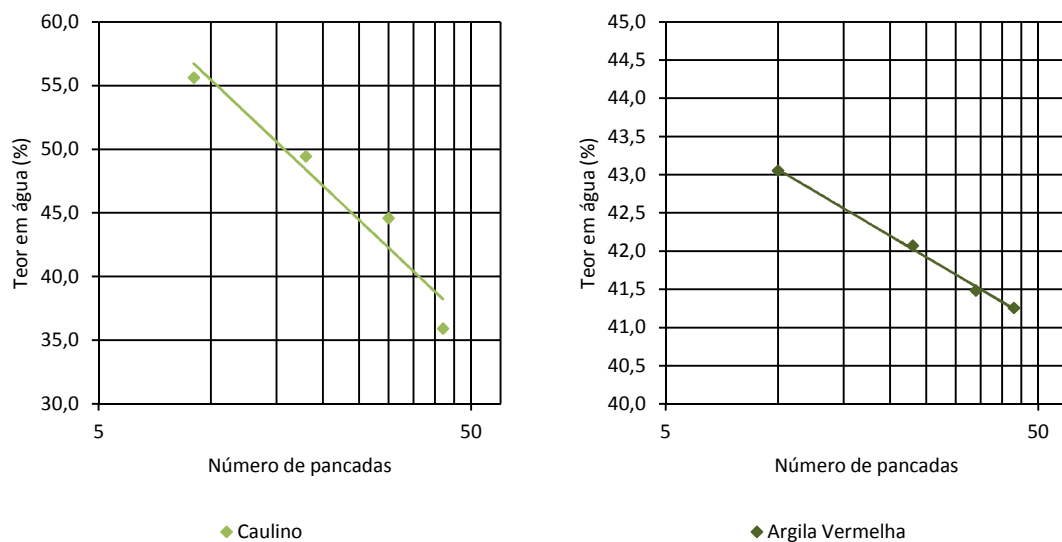


Figura 5.10 - Limite de liquidez das amostras de Caulino e Argila Vermelha

Os resultados deste ensaio apresentam-se resumidamente na Tabela 5.5. Nas Figuras I.14 a I.17 do Anexo I encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

Tabela 5.5 - Resultados do ensaio de determinação dos limites de consistência

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
NP-143 Determinação dos limites de consistência	Caulino	LL (%)	45
		IP (%)	12
	Argila Vermelha	LL (%)	42
		IP (%)	24

De acordo com a classificação unificada de solos (ASTM D 2487-85), a amostra de Caulino é classificada como ML - “Silte” e amostra de Argila Vermelha como CL - “Argila magra com areia”.

5.4. Análise Mineralógica

A análise mineralógica foi obtida por difracção de raio-X. Para Gomes (1986), “cada mineral tem a sua estrutura própria e o diagrama DRX respectivo mostra o modelo de difracção da radiação X nos planos estruturais” (Gomes, 1986, p. 174). De acordo com o autor anterior, “cada espécie mineral cristalina tem um modelo de difracção específico a partir do qual ela pode ser identificada, mesmo quando faça parte de misturas mais ou menos complexas com outras espécies minerais” (Gomes, 1986, p. 174).

A qualidade das misturas betuminosas depende das características mineralógicas dos agregados utilizados. Os minerais que constituem os agregados das misturas betuminosas para camadas de desgaste têm influência no coeficiente de atrito pneu - pavimento. O quartzo e o feldspato, minerais constituintes do granito, são duros e com elevada resistência ao polimento enquanto os minerais constituintes do calcário são macios e tendem a desgastar criando superfícies lisas. O calcário tem uma elevada percentagem de materiais macios, sendo mais susceptíveis ao polimento que a maioria dos agregados (Matos, 2005).

Os diagramas de difracção de raio-X das amostras de Granito, Caulino, Calcário e Argila Vermelha encontram-se nas Figuras I.18 a I.21 do Anexo I.

Com base nos resultados obtidos verifica-se que os principais minerais constituintes do Granito são os feldspatos, o quartzo, as micas, os carbonatos (calcite e dolomite), a caulinite e também a esmectite.

A caulinite é o principal constituinte da amostra de Caulino que apresenta também mica (ilite), vestígios de esmectite e quartzo.

O mineral predominante na amostra de Calcário é a calcite. A difracção de raio-X desta amostra permite identificar, ainda, outros minerais como o quartzo e a pirite.

A composição mineralógica da amostra de Argila Vermelha é muito mais variada e complexa, sendo o quartzo, a caulinite, a clorite, a ilite e a esmectite, juntamente com os óxidos e hidróxidos de ferro, os componentes predominantes. O quartzo, o feldspato e os óxidos e hidróxidos de ferro são os principais minerais não argilosos constituintes desta amostra.

5.5. Determinação da Densidade das Partículas

A determinação da densidade das partículas foi feita com base na norma NP-83:1965 - "Solos. Determinação da densidade das partículas".

O ensaio de determinação da densidade das partículas foi realizado para as amostras de Granito, Caulino, Calcário e Argila Vermelha.



Figura 5.11 - Excavador utilizado no ensaio de determinação da densidade das partículas

Os resultados deste ensaio apresentam-se resumidamente na Tabela 5.6. Nas Figuras I.22 a I.25 do Anexo I encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

Tabela 5.6 - Resultados do ensaio de determinação da densidade das partículas

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
NP-83 Determinação da densidade das partículas	Pó de Pedra - Granito	d	2,65
	Caulino		2,46
	Pó de Pedra - Calcário		2,70
	Argila Vermelha		2,65

Com base nos resultados obtidos verifica-se que o Calcário é a amostra que apresenta maior densidade das partículas, enquanto o Caulino é a amostra que tem o valor mais baixo.

Os minerais constituintes do Calcário têm uma densidade superior ao quartzo e ao feldspato, minerais constituintes do Granito, o que justifica o maior valor de densidade da amostra de Calcário.

O menor valor da amostra de Caulino resulta do mineral caulinite ter um valor de densidade inferior.

As amostras de Granito e de Argila Vermelha têm valores de densidade semelhantes.

5.6. Caracterização das Misturas

No âmbito do estudo do comportamento dos finos em misturas, foram contaminadas amostras de Granito e de Calcário com diferentes percentagens de finos (2%, 4% e 6%), procedendo-se à sua caracterização. O Caulino foi utilizado como contaminante nas amostras de Granito e nas amostras de Calcário foi misturada Argila Vermelha. Foi usada a mesma fracção granulométrica de Caulino e de Argila Vermelha nas misturas (Figura 5.12).

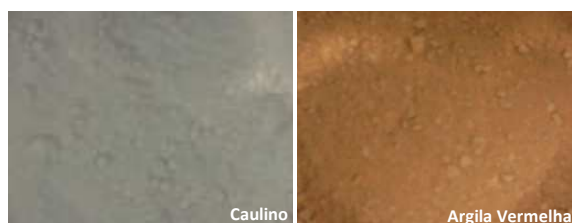


Figura 5.12 - Fracção fina das amostras de Caulino e de Argila Vermelha

5.6.1. Análise Granulométrica

Nas Figuras 5.13 e 5.14 apresentam-se as curvas granulométricas das amostras de Granito e Calcário, respectivamente. Nas Figuras I.26 a I.31 do Anexo I encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

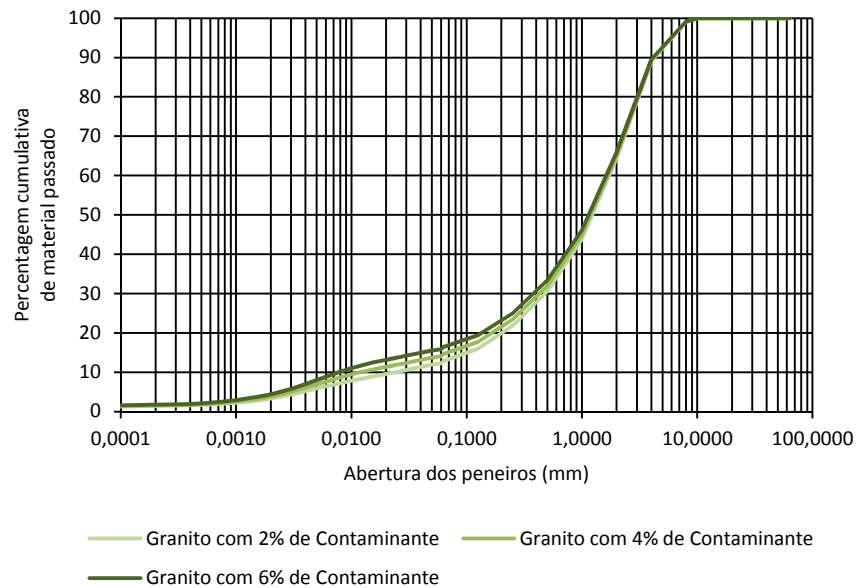


Figura 5.13 - Curvas granulométricas da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante

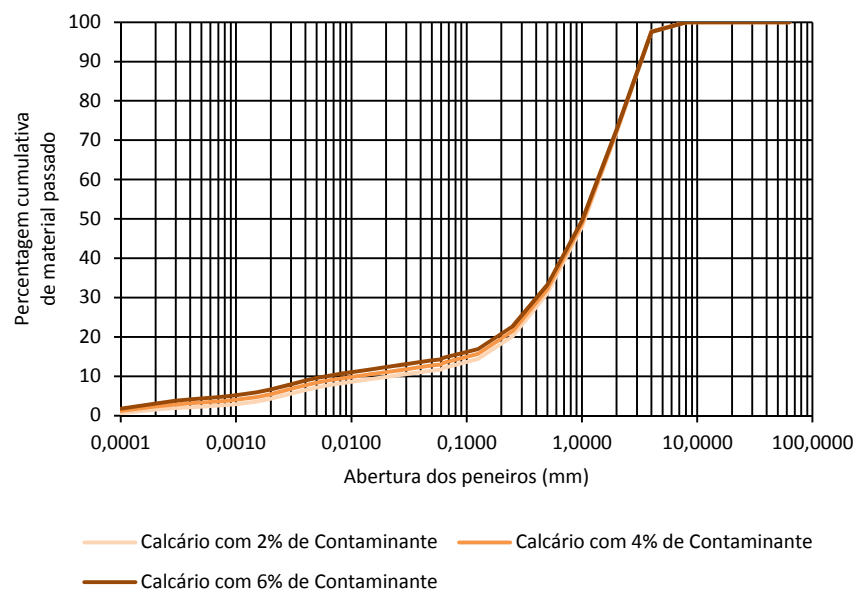


Figura 5.14 - Curvas granulométricas da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante

5.6.2. Equivalente de Areia

A determinação do equivalente de areia dos agregados foi feita segundo a norma portuguesa NP EN 933-8:2002 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia”.

O ensaio do equivalente de areia foi realizado na fracção 0/2 mm das amostras.

Os resultados deste ensaio para as amostras de Granito apresentam-se resumidamente na Tabela 5.7. Nas Figuras I.32 a I.34 do Anexo I encontram-se todos dados relativos ao ensaio do equivalente de areia.

Tabela 5.7 - Equivalente de areia da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-8 Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia	Granito com 2% de Contaminante	SE (%)	58
	Granito com 4% de Contaminante		49
	Granito com 6% de Contaminante		42

Com base nos resultados obtidos verifica-se que para 2% de Contaminante, o valor do equivalente de areia do Granito é igual ao do Granito sem Contaminante.

Tal como esperado, verifica-se que o Granito com 2% de Contaminante é a amostra que apresenta o valor do equivalente de areia mais alto sendo o Granito com 6% de Contaminante a amostra que tem o valor mais baixo.

Os resultados deste ensaio para as amostras de Calcário apresentam-se resumidamente na Tabela 5.8 e na sua totalidade nas Figuras I.35 a I.37 do Anexo I.

Tabela 5.8 - Equivalente de areia da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-8 Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia	Calcário com 2% de Contaminante	SE (%)	32
	Calcário com 4% de Contaminante		26
	Calcário com 6% de Contaminante		22

Para 2% de Contaminante, o valor do equivalente de areia do Calcário, diminui consideravelmente.

O Calcário com menor percentagem de Contaminante apresenta o valor do equivalente de areia mais elevado. O valor do equivalente de areia mais baixo corresponde ao Calcário com maior percentagem de Contaminante.

No gráfico da Figura 5.15 apresenta-se a variação do valor do equivalente de areia com a percentagem de contaminante, para as amostras de Granito e de Calcário.

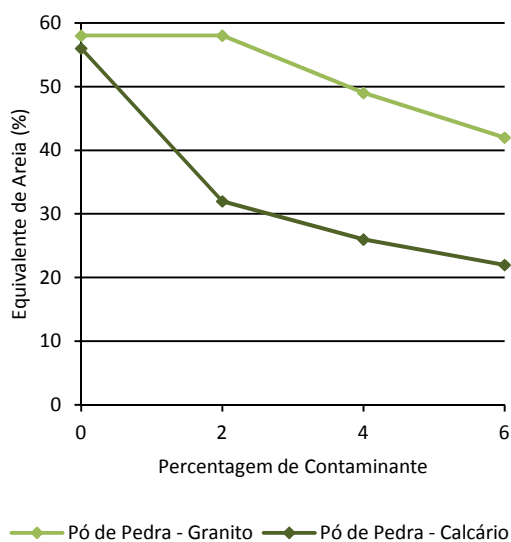


Figura 5.15 - Equivalente de areia do Granito e do Calcário com diferentes percentagens de contaminante

5.6.3. Azul de Metileno

A determinação do azul de metileno dos agregados foi feita com base na norma portuguesa NP EN 933-9:2002 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno”.

O ensaio do azul de metileno foi realizado sobre a fracção 0/2 mm das amostras.

Os resultados deste ensaio para as amostras de Granito apresentam-se resumidamente na Tabela 5.9. Nas Figuras I.38 a I.40 do Anexo I encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

Tabela 5.9 - Azul de metileno da amostra de Granito com diferentes percentagens de contaminante

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-9 Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno	Granito com 2% de Contaminante	MB (g/kg)	1,5
	Granito com 4% de Contaminante		1,6
	Granito com 6% de Contaminante		1,8

Com base nos resultados obtidos e, tal como esperado, verifica-se que o Granito com 2% de Contaminante é a amostra que apresenta o valor do azul de metileno mais baixo sendo o Granito com 6% de Contaminante a amostra que tem o valor mais alto.

Os resultados deste ensaio para as amostras de Calcário apresentam-se resumidamente na Tabela 5.10 e na sua totalidade nas Figuras I.41 a I.43 do Anexo I.

Tabela 5.10 - Azul de metileno da amostra de Calcário com diferentes percentagens de contaminante

Método de ensaio	Identificação da amostra	Resultados	
EN 933-9 Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno	Calcário com 2% de Contaminante	MB (g/kg)	2,7
	Calcário com 4% de Contaminante		4,6
	Calcário com 6% de Contaminante		5,7

O Calcário com menor percentagem de Contaminante apresenta o valor do azul de metileno mais baixo. O valor do azul de metileno mais elevado corresponde ao Calcário com maior percentagem de Contaminante.

No gráfico da Figura 5.16 apresenta-se a variação do valor do azul de metileno com a percentagem de contaminante, para as amostras de Granito e de Calcário.

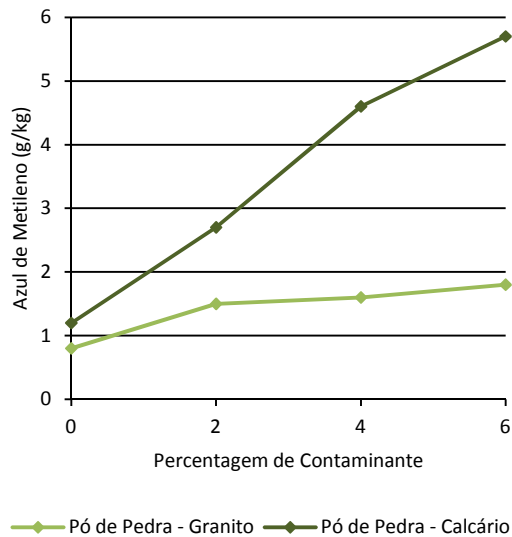


Figura 5.16 - Azul de metileno do Granito e do Calcário com diferentes percentagens de contaminante

Comparando os gráficos das Figuras 5.15 e 5.16 verifica-se a coerência dos valores obtidos nos ensaios do equivalente de areia e do azul de metileno, sendo como esperado, inversamente proporcionais. Analisando os gráficos verifica-se, ainda, que a presença dos contaminantes nos agregados é detectada mais facilmente com o ensaio do azul de metileno, sendo um dos motivos que tem levado a que este ensaio tenha vindo gradualmente a substituir o ensaio do equivalente de areia.

Capítulo 6

Influência dos Contaminantes no Desempenho de Misturas Betuminosas

Este trabalho tem como objectivo estudar a influência da presença de contaminantes finos, aplicando as especificações técnicas relativas ao controlo de qualidade de agregados minerais, na qualidade final de misturas betuminosas. Para tal, foram produzidas oito misturas, quatro de Granito e quatro de Calcário, nas quais foram utilizadas, respectivamente, o Caulino e a Argila Vermelha (caracterizados no capítulo anterior) para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. As misturas produzidas correspondem a uma substituição de 0%, 2%, 4% e 6% de material fino. Finalmente, foi caracterizado o comportamento das oito misturas através do método de Marshall e estudadas as propriedades relacionadas com o seu desempenho.

6.1. Caracterização dos Agregados

Para este estudo foram disponibilizados um agregado de Granito e um agregado de Calcário, compostos, respectivamente, por quatro e três fracções distintas. A menor fracção dos agregados foi caracterizada no capítulo anterior. Nas figuras seguintes apresenta-se o aspecto das diferentes fracções dos agregados disponibilizados.



Figura 6.1 - Aspecto dos agregados de Granito



Figura 6.2 - Aspecto dos agregados de Calcário

6.1.1. Granulometria

A composição granulométrica ideal, para os agregados a utilizar em misturas betuminosas, é a que proporciona misturas mais densas, apesar de ser necessária a existência de alguns vazios para que os agregados possam ser totalmente envolvidos pelo betume (Matos, 2005).

Em Portugal, os agregados com elementos de diferentes dimensões, bem graduados, são usados nas misturas densas para camadas de base e de regularização enquanto os agregados com falta de elementos de determinada dimensão, mal graduados, são usados em misturas betuminosas abertas e drenantes (Matos, 2005; Branco *et al.*, 2005).

A dimensão máxima do agregado também condiciona o comportamento das misturas betuminosas. Se os agregados têm uma dimensão máxima muito pequena, as misturas podem tornar-se instáveis e sofrer deformações permanentes excessivas. Mas, se os agregados têm uma dimensão máxima muito grande, as misturas ficam difíceis de trabalhar e podem ocorrer problemas de segregação de materiais (Matos, 2005).

A análise granulométrica dos agregados foi feita por peneiração, segundo a norma portuguesa NP EN 933-1:2000 - “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica”.

Nas Figuras 6.3 e 6.4 apresentam-se as curvas granulométricas das diferentes amostras ensaiadas.

Os valores da massa de material retido em cada peneiro, da massa de finos e o seu somatório apresentam-se nas Figuras II.1 a II.5 do Anexo II.

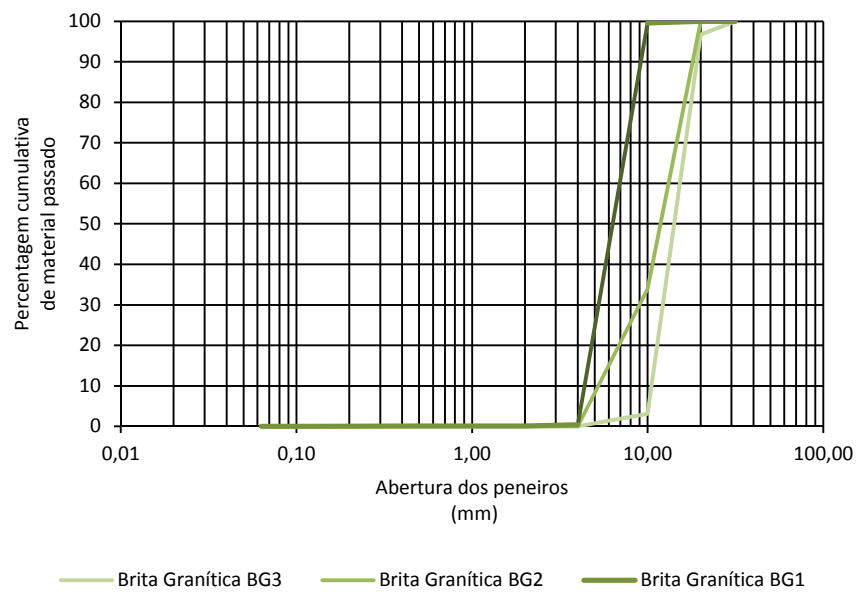


Figura 6.3 - Curvas granulométricas dos agregados de Granito

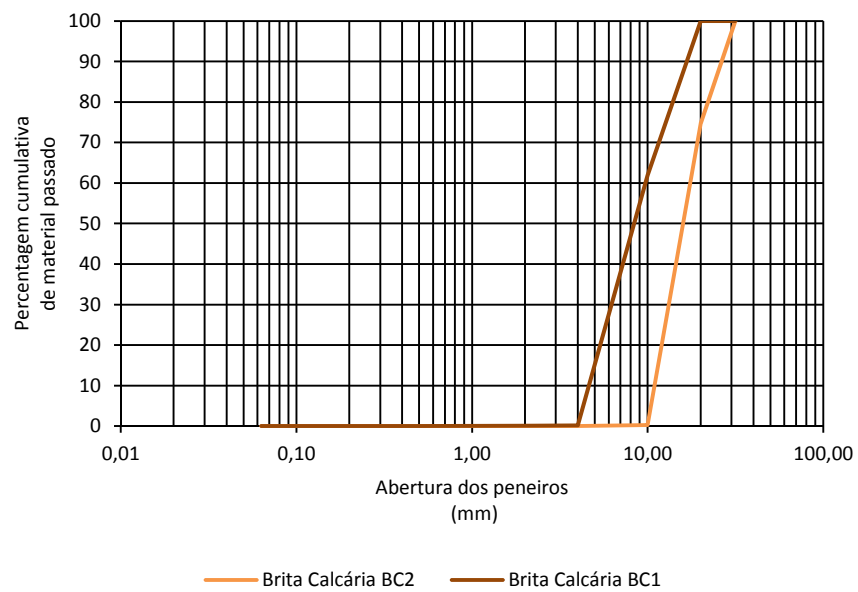


Figura 6.4 - Curvas granulométricas dos agregados de Calcário

6.1.2. Massa Volúmica e Absorção de Água

A massa volúmica dos agregados é importante para determinar as relações entre a massa e o volume das misturas e também, para calcular a baridade máxima teórica destas (Matos, 2005).

A determinação da massa volúmica das partículas foi feita com base na norma portuguesa NP EN 1097-6:2003 - “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água”.

A massa volúmica das partículas é calculada a partir da relação “entre a massa e o volume. A massa é determinada pela pesagem do provete com as partículas saturadas com superfície seca e a partir de outra pesagem do mesmo provete após secagem em estufa. O volume é determinado a partir da massa da água deslocada, quer pela redução de massa no método do cesto de rede metálica, quer por pesagens no método do picnómetro” (NP EN 1097-6:2003, p. 7).

Na determinação da massa volúmica das partículas foi utilizado o método do cesto de rede metálica.

Os resultados deste ensaio para os agregados de Granito apresentam-se resumidamente nas Tabelas 6.1 a 6.3. Nas Figuras II.6 a II.8 do Anexo II encontram-se os resultados do ensaio com mais pormenor.

Tabela 6.1 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG1

Método de ensaio	Identificação do agregado	Resultados	
EN 1097-6 Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Brita Granítica BG1	ρ_a (g/cm ³)	2,62
		ρ_{rd} (g/cm ³)	2,61
		ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,62
		WA ₂₄ (%)	0,3

Tabela 6.2 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG2

Método de ensaio	Identificação do agregado	Resultados	
EN 1097-6 Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Brita Granítica BG2	ρ_a (g/cm ³)	2,64
		ρ_{rd} (g/cm ³)	2,62
		ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,63
		WA ₂₄ (%)	0,3

Tabela 6.3 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BG3

Método de ensaio	Identificação do agregado	Resultados	
EN 1097-6 Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Brita Granítica BG3	ρ_a (g/cm ³)	2,68
		ρ_{rd} (g/cm ³)	2,66
		ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,67
		WA ₂₄ (%)	0,2

Os resultados deste ensaio para os agregados de Calcário apresentam-se resumidamente nas Tabelas 6.4 e 6.5 e na sua totalidade nas Figuras II.9 e II.10 do Anexo II.

Tabela 6.4 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BC1

Método de ensaio	Identificação do agregado	Resultados	
EN 1097-6 Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Brita Calcária BC1	ρ_a (g/cm ³)	2,70
		ρ_{rd} (g/cm ³)	2,60
		ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,64
		WA ₂₄ (%)	1,4

Tabela 6.5 - Resultados do ensaio de determinação da massa volúmica para o agregado BC2

Método de ensaio	Identificação do agregado	Resultados	
EN 1097-6 Determinação da massa volúmica e da absorção de água	Brita Calcária BC2	ρ_a (g/cm ³)	2,70
		ρ_{rd} (g/cm ³)	2,63
		ρ_{ssd} (g/cm ³)	2,66
		WA ₂₄ (%)	0,9

6.2. Mistura Betuminosa Estudada

Para este estudo foram utilizadas duas misturas betuminosas densas para camadas de regularização de pavimentos. Este tipo de misturas é utilizado para tráfegos leves e estradas da rede secundária.

A curva granulométrica das misturas, indicada no CEEP, foi obtida através da combinação das curvas granulométricas dos diferentes agregados. Foi utilizado um betume do tipo 50/70.

6.2.1. Curva Granulométrica das Misturas

6.2.1.1. Granitos

Para esta mistura o agregado de Granito foi utilizado apenas em duas fracções granulométricas (Figura 6.5).

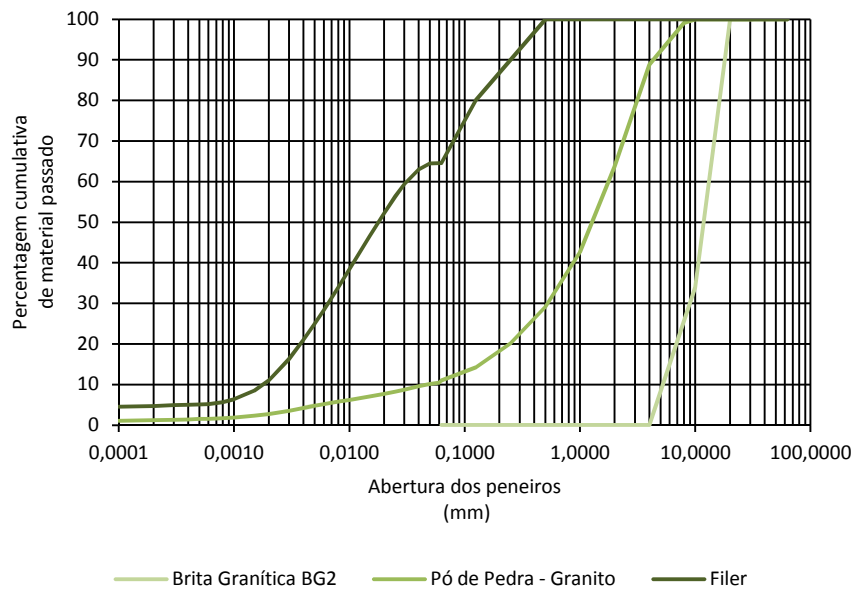


Figura 6.5 - Curvas granulométricas dos agregados utilizados na mistura de Granito

A curva granulométrica da mistura, indicada no CEEP, foi obtida através da combinação das curvas granulométricas destes agregados. A mistura dos agregados utilizada e o fuso granulométrico indicado para este tipo de mistura encontram-se na Figura 6.6.

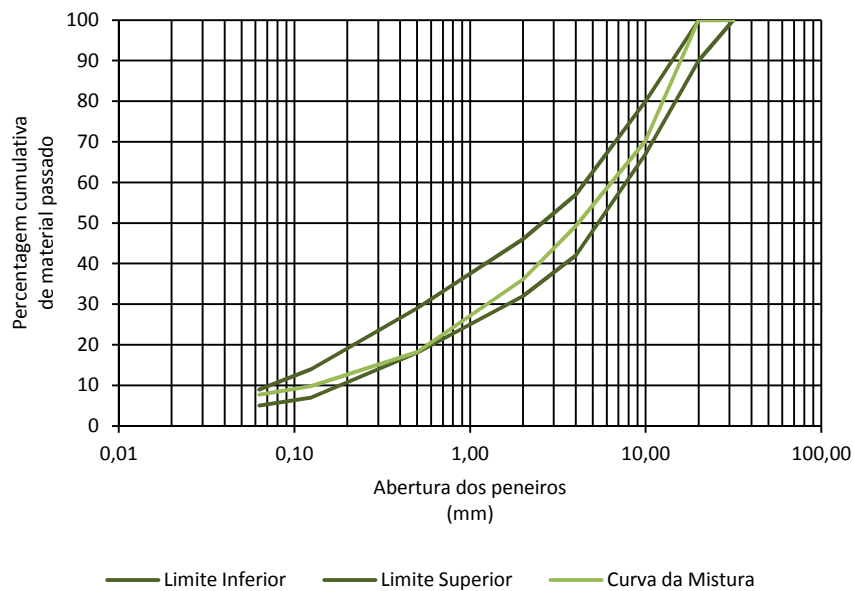


Figura 6.6 - Curva da mistura de Granito e fuso granulométrico da MBD para camadas de regularização

A combinação dos agregados utilizada para obter a curva granulométrica da mistura é apresentada na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Curva granulométrica da mistura de Granito

Peneiro	Abertura (mm)	Percentagem cumulativa de material passado					
		Brita BG2	Pó de Granito	Filer	Curva Mistura	Limite Inferior	Limite Superior
1" 1/4	31,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100
-	20	100,0	100,0	100,0	100,0	90	100
-	10	34,0	100,0	100,0	70,3	67	80
5	4	0,0	88,9	100,0	49,2	42	57
10	2	0,0	63,7	100,0	36,1	32	46
35	0,5	0,0	29,1	100,0	18,2	18	29
120	0,125	0,0	14,3	80,1	9,8	7	14
230	0,063	0,0	11,0	64,6	7,7	5	9
Material usado		45%	52%	3%			

6.2.1.2. Calcários

Para esta mistura foram utilizadas as três frações do agregado de Calcário disponibilizadas (Figura 6.7). A curva granulométrica da mistura foi obtida através da combinação das curvas granulométricas das várias frações dos agregados.

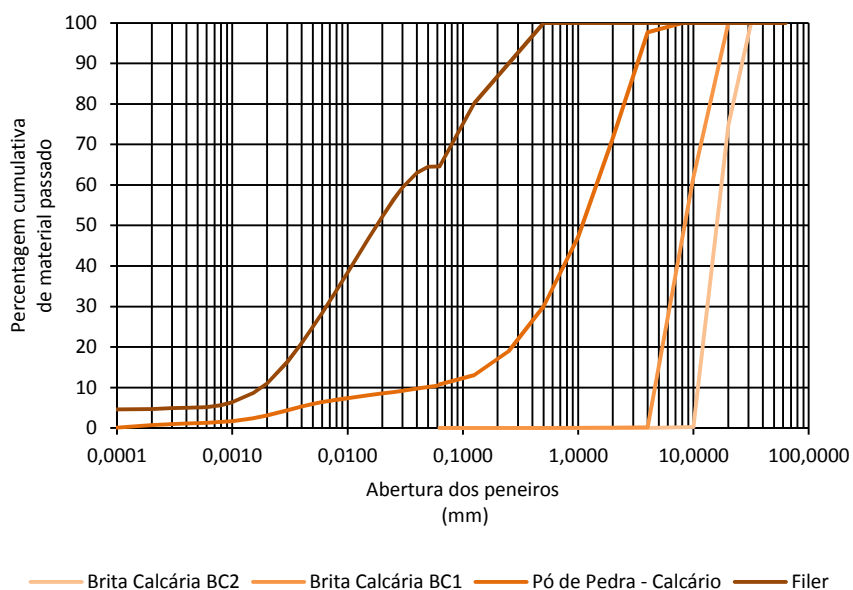


Figura 6.7 - Curvas granulométricas dos agregados utilizados na mistura de Calcário

A curva da mistura obtida e o fuso granulométrico da mistura betuminosa densa para camadas de regularização de pavimentos, indicado no CEEP, encontram-se na Figura 6.8.

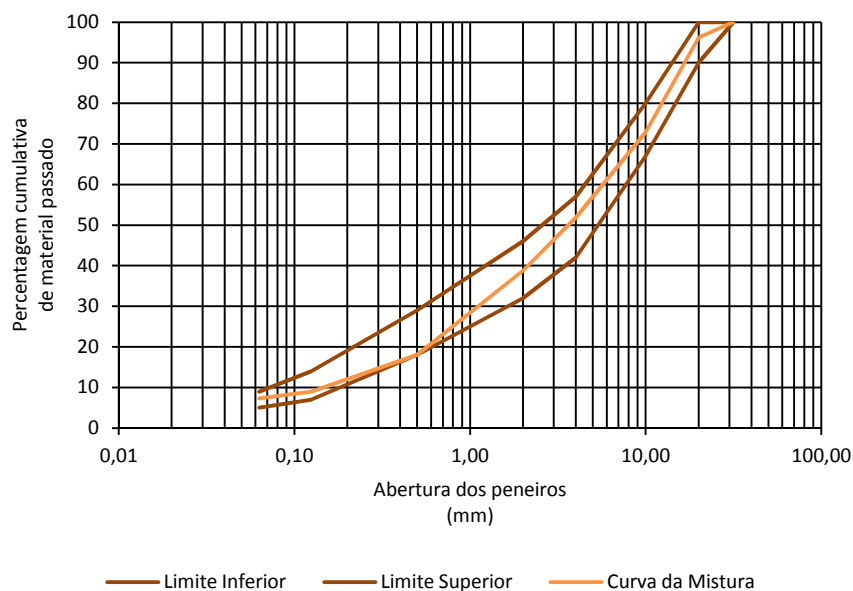


Figura 6.8 - Curva da mistura de Calcário e fuso granulométrico da MBD para camadas de regularização

A combinação dos agregados utilizada para obter a curva granulométrica da mistura é apresentada na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 - Curva granulométrica da mistura de Calcário

Peneiro	Abertura (mm)	Percentagem cumulativa de material passado						
		Brita BC1	Brita BC2	Pó de Calcário	Filer	Curva Mistura	Limite Inferior	Limite Superior
1" 1/4	31,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100	100
-	20	100,0	74,7	100,0	100,0	96,2	90	100
-	10	61,9	0,2	100,0	100,0	72,8	67	80
5	4	0,1	0,0	97,7	100,0	51,9	42	57
10	2	0,1	0,0	71,5	100,0	38,8	32	46
35	0,5	0,1	0,0	30,0	100,0	18,0	18	29
120	0,125	0,0	0,0	13,0	80,1	8,9	7	14
230	0,063	0,0	0,0	10,7	64,6	7,3	5	9
Material usado		32%	15%	50%	3%			

6.2.2. Determinação da Percentagem de Betume

A quantidade de betume para as misturas betuminosas em estudo foi determinada com base no método de Duriez (Equação 6.1) obtendo-se um valor de 5,6 % para o teor ótimo em betume da mistura betuminosa de Granito e de 5,5 % para o teor ótimo em betume da mistura betuminosa de Calcário.

$$P_b = \alpha \times K \times \sqrt[5]{\Sigma} \quad (6.1)$$

$$\alpha = \frac{2,65}{\rho_a} \quad (6.2)$$

Em que,

P_b - Teor em betume, em percentagem

ρ_a - Massa volúmica da mistura de agregados em g/cm³

K - Módulo de riqueza em betume

Σ - Superfície específica dos agregados, em m²/kg

O módulo de riqueza em betume para camadas de regularização de pavimentos, indicado no CEEP, varia entre 3,3 e 3,8. Para as misturas estudadas foi utilizado um módulo de riqueza de 3,3 e a superfície específica dos agregados foi calculada através da equação seguinte.

$$\Sigma = \frac{0,25 \times G + 2,3 \times S + 12 \times s + 150 \times f}{100} \quad (6.3)$$

Em que,

G - Proporção ponderal dos elementos superiores a 6,3 mm

S - Proporção ponderal dos elementos compreendidos entre 6,3 e 0,250 mm

s - Proporção ponderal dos elementos compreendidos entre 0,250 e 0,063 mm

f - Proporção ponderal dos elementos inferiores a 0,063 mm

Tabela 6.8 - Superfície específica dos agregados

Identificação da mistura	G	S	s	f	Σ
MBD - Granitos	42,7	44,7	4,9	7,7	13,27
MBD - Calcários	40,1	48,0	4,6	7,3	12,71

6.3. Ensaio de Marshall

O ensaio de Marshall aplica-se a misturas betuminosas densas com agregados de dimensão inferior ou igual a 25 mm. É um dos principais ensaios utilizados na formulação e na avaliação da conformidade de misturas betuminosas.

O ensaio de Marshall foi feito com base na norma NP-142:1968 - “Misturas Betuminosas. Ensaio de compressão Marshall”.

Foram realizados três provetes para cada mistura, num total de 24 provetes. As misturas betuminosas foram compactadas com um compactador de impacto através da aplicação de 50 pancadas em cada lado dos provetes. Os provetes foram imersos em água a 40°C durante dois minutos e desmoldados (Figura 6.9).



Figura 6.9 - Preparação e moldagem dos provetes

Foram verificadas as dimensões dos provetes, que devem ter 101 mm de diâmetro e aproximadamente 63 mm de altura.

Os provetes foram pesados secos e imersos em água e, foi determinada a baridade aparente e a baridade máxima teórica das diferentes misturas (Figura 6.10).



Figura 6.10 - Pesagem dos provetes secos e imersos

Para o ensaio de Marshall os provetes foram colocados num banho de água a 60°C durante vinte minutos. Foi imposta uma deformação vertical de compressão aos provetes a uma velocidade de 50 mm/min, através de um carregamento de compressão diametral, até os provetes atingirem a rotura. Para a obtenção de resultados mais rigorosos, foi instalado um sistema de aquisição de dados, tendo em vista a determinação da estabilidade e da deformação para os vários provetes (Figura 6.11).

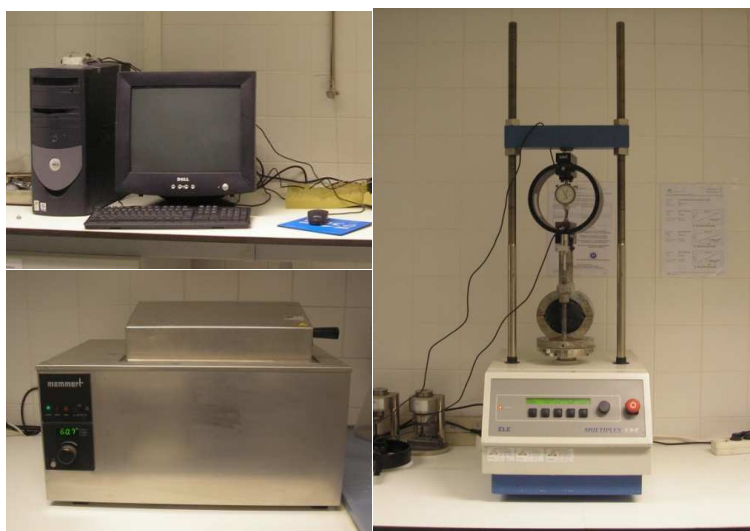


Figura 6.11 - Material utilizado no ensaio de Marshall

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes de Marshall, foram calculados os valores médios da baridade aparente, porosidade, volume de vazios na mistura, estabilidade e deformação das diferentes misturas betuminosas.

6.3.1. MBD - Granitos

Foram produzidas quatro misturas de Granito nas quais foi utilizado o Caulino, caracterizado no capítulo anterior, para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. As misturas produzidas correspondem a uma substituição de 0%, 2%, 4% e 6% de material fino.

Foram realizados três provetes para cada mistura. Foram determinadas as dimensões dos provetes, o seu peso seco e imerso em água e, foi calculada a baridade aparente e a baridade máxima teórica. De seguida, procedeu-se ao ensaio de Marshall para determinar a estabilidade dos provetes através da força de rotura e a respectiva deformação vertical de compressão. Os resultados para os provetes de Granito são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.9 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P4	P7	P8
Granito sem Contaminante	Altura média (mm)	64,0	63,6	65,2
	Massa do provete seco (g)	1188,2	1192,8	1194,9
	Massa do provete imerso (g)	682,4	691,0	683,1
	Baridade (g/cm ³)	2,35	2,38	2,34
	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,426	2,426	2,426
	Força de rotura (kN)	10,3	8,9	8,6
	Deformação (mm)	4,1	2,5	3,5

Tabela 6.10 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P17	P21	P22
Granito com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	64,0	65,0	63,1
	Massa do provete seco (g)	1196,0	1195,3	1186,9
	Massa do provete imerso (g)	690,2	687,1	686,6
	Baridade (g/cm ³)	2,37	2,35	2,37
	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,426	2,426	2,426
	Força de rotura (kN)	9,2	7,6	10,7
	Deformação (mm)	3,0	2,7	3,3

Tabela 6.11 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P24	P31	P33
Granito com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	64,4	70,0	66,0
	Massa do provete seco (g)	1192,2	1192,3	1194,3
	Massa do provete imerso (g)	687,5	671,0	679,3
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,29	2,32
	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,426	2,426	2,426
	Força de rotura (kN)	12,1	4,7	9,3
	Deformação (mm)	3,8	4,0	3,5

Tabela 6.12 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P40	P43	P44
Granito com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	64,4	64,1	63,0
	Massa do provete seco (g)	1196,4	1196,0	1194,3
	Massa do provete imerso (g)	688,4	690,5	692,9
	Baridade (g/cm^3)	2,36	2,37	2,38
	Baridade máxima teórica (g/cm^3)	2,426	2,426	2,426
	Força de rotura (kN)	6,9	8,6	9,9
	Deformação (mm)	3,8	3,0	3,8

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes, foram calculados os valores médios da estabilidade, deformação, baridade aparente, porosidade e volume de vazios na mistura de agregados para as diferentes misturas betuminosas (Tabela 6.13) e ilustrados em gráficos na Figura 6.12.

Tabela 6.13 - Resultados do ensaio de Marshall para as misturas betuminosas de Granito

Identificação da mistura	Características da mistura				
	Frotura (kN)	Def. (mm)	Baridade (g/cm^3)	n (%)	VMA (%)
Granito sem Contaminante	9,27	3,37	2,34	3,3	23,6
Granito com 2% de Contaminante	9,15	3,00	2,36	2,7	20,6
Granito com 4% de Contaminante	8,70	3,77	2,33	3,8	23,2
Granito com 6% de Contaminante	8,50	3,53	2,37	2,4	21,3

Influência dos Contaminantes no Desempenho de Misturas Betuminosas

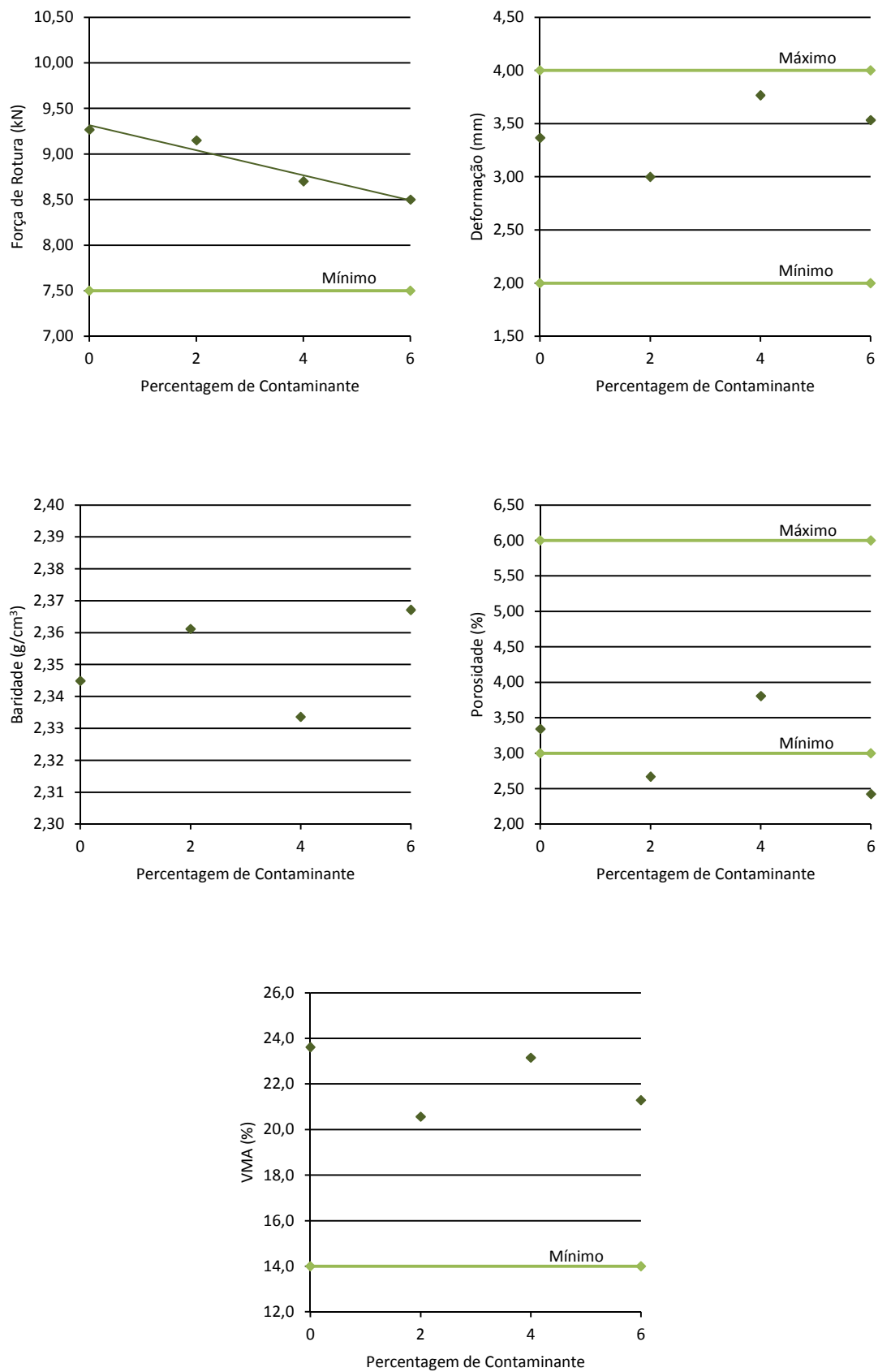


Figura 6.12 - Influência do contaminante nas características da mistura betuminosa de Granito

Verifica-se que a utilização de Granito contaminado com Caulino altera significativamente as características mecânicas da mistura betuminosa.

A estabilidade da mistura diminui com a percentagem de contaminante sendo a mistura de Granito com 6% de contaminante a que tem o mais baixo valor de estabilidade. Relativamente à deformação da mistura não existe uma tendência definida com a percentagem de contaminante. Para valores inferiores a 2% de contaminante a deformação diminui o mesmo acontecendo para valores superiores a 4% de contaminante. Para valores inferiores a 4% de contaminante a deformação da mistura aumenta e a sua variação é mais significativa. No entanto, estes resultados podem estar relacionados com as condições de fabrico dos provetes uma vez que os provetes foram moldados em dias diferentes, com temperaturas ambiente também bastante diferentes.

Relativamente às características volumétricas da mistura também não existe uma tendência definida com a percentagem de contaminante. A porosidade e o volume de vazios na mistura de agregados diminuem para valores inferiores a 2% de contaminante. Para valores superiores a 2% de contaminante a porosidade e o volume de vazios na mistura de agregados aumentam e para valores superiores a 4% de contaminante diminuem.

6.3.2. MBD - Calcários

Foram produzidas quatro misturas de Calcário nas quais foi utilizada a Argila Vermelha, caracterizada no capítulo anterior, para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. As misturas produzidas correspondem a uma substituição de 0%, 2%, 4% e 6% de material fino.

Foram realizados três provetes para cada mistura. Foram determinadas as dimensões dos provetes, o seu peso seco e imerso em água e, foi calculada a baridade aparente e a baridade máxima teórica. De seguida, procedeu-se ao ensaio de Marshall para determinar a estabilidade dos provetes através da força de rotura e a respectiva deformação vertical de compressão. Os resultados para os provetes de Calcário são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.14 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P46	P47	P48
Calcário sem Contaminante	Altura média (mm)	64,4	63,0	63,0
	Massa do provete seco (g)	1194,4	1190,6	1190,3
	Massa do provete imerso (g)	687,6	689,5	691,4
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,38	2,39
	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,444	2,444	2,444
	Força de rotura (kN)	13,4	11,0	8,4
	Deformação (mm)	3,4	3,6	2,4

Tabela 6.15 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P57	P62	P66
Calcário com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	63,2	64,6	64,5
	Massa do provete seco (g)	1193,9	1195,2	1197,1
	Massa do provete imerso (g)	689,7	684,0	686,8
	Baridade (g/cm ³)	2,37	2,34	2,35
	Baridade máxima teórica (g/cm ³)	2,444	2,444	2,444
	Força de rotura (kN)	11,3	9,1	10,1
	Deformação (mm)	4,6	3,0	3,6

Tabela 6.16 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P68	P71	P75
Calcário com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	64,1	64,8	65,0
	Massa do provete seco (g)	1196,6	1196,2	1200,7
	Massa do provete imerso (g)	689,5	683,9	682,9
	Baridade (g/cm^3)	2,36	2,34	2,32
	Baridade máxima teórica (g/cm^3)	2,444	2,444	2,444
	Força de rotura (kN)	9,9	11,0	9,1
	Deformação (mm)	3,2	5,4	2,9

Tabela 6.17 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes		
		P79	P84	P86
Calcário com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	63,9	65,0	64,1
	Massa do provete seco (g)	1198,1	1198,6	1193,0
	Massa do provete imerso (g)	692,6	683,9	684,1
	Baridade (g/cm^3)	2,37	2,33	2,34
	Baridade máxima teórica (g/cm^3)	2,444	2,444	2,444
	Força de rotura (kN)	10,4	9,8	8,7
	Deformação (mm)	3,9	3,9	3,7

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes, foram calculados os valores médios da estabilidade, deformação, baridade aparente, porosidade e volume de vazios na mistura de agregados para as diferentes misturas betuminosas (Tabela 6.18) e ilustrados em gráficos na Figura 6.13.

Tabela 6.18 - Resultados do ensaio de Marshall para as misturas betuminosas de Calcário

Identificação da mistura	Características da mistura				
	Frotura (kN)	Def. (mm)	Baridade (g/cm ³)	n (%)	VMA (%)
Calcário sem Contaminante	10,93	3,13	2,37	3,1	22,3
Calcário com 2% de Contaminante	10,17	3,73	2,34	4,1	27,3
Calcário com 4% de Contaminante	10,00	3,83	2,34	4,2	25,1
Calcário com 6% de Contaminante	9,63	3,83	2,34	4,1	25,5

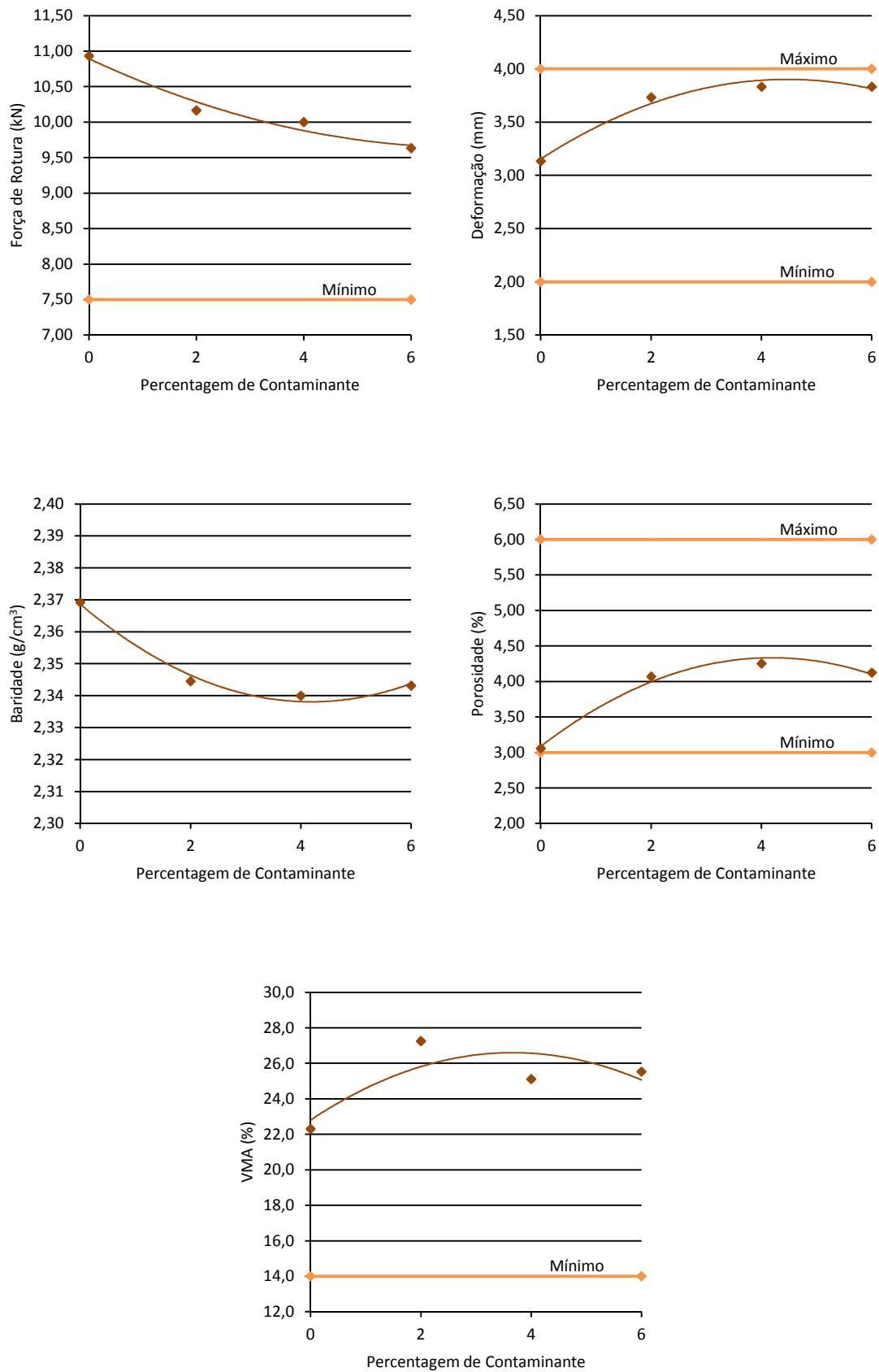


Figura 6.13 - Influência do contaminante nas características da mistura betuminosa de Calcário

Com base nos resultados obtidos verifica-se que a utilização de Calcário contaminado com Argila Vermelha altera significativamente as características mecânicas da mistura betuminosa, sendo a variação mais significativa para 2% de contaminante.

A estabilidade da mistura diminui com a percentagem de contaminante. No entanto, esta diminuição é maior para valores inferiores a 2% de contaminante. A utilização de Calcário contaminado aumenta a deformação da mistura betuminosa. A mistura de Calcário com 6% de Contaminante é a que tem o mais baixo valor de estabilidade e o maior valor de deformação.

A baridade da mistura diminui para valores de contaminante inferiores a 2% e a porosidade aumenta. Para valores superiores a 2% de contaminante a baridade e a porosidade da mistura são aproximadamente constantes.

O volume de vazios na mistura de agregados aumenta para 2% de contaminante. Para valores superiores a 4% de contaminante o volume de vazios na mistura de agregados é aproximadamente constante.

Verifica-se, ainda, que todas as percentagens de contaminante utilizadas conduzem a misturas que cumprem as especificações requeridas para a utilização em misturas betuminosas densas para camadas de regularização de pavimentos.

6.4. Resistência Conservada

O conhecimento do comportamento das misturas betuminosas face à acção da água é de extrema importância, nomeadamente para uma melhor caracterização do seu desempenho e durabilidade durante a sua vida útil (Batista e Antunes, 2009). A presença de água em misturas betuminosas provoca normalmente, dois mecanismos de degradação das misturas betuminosas - a perda de adesividade entre o betume e o agregado e, a perda de coesão e de resistência do betume (Batista *et al.*, s/d).

A determinação da resistência conservada das misturas betuminosas foi feita com base na norma militar americana MIL - STD - 620A e com o Cahier RILEM 17 BM n°3.

Foram realizados oito provetes para cada mistura, completando um total de 64 provetes. As misturas betuminosas foram compactadas com o compactador de impacto através da aplicação de 50 pancadas em cada lado dos provetes. Os provetes foram imersos em água a 40°C durante dois minutos e desmoldados.

Na Figura 6.14 apresenta-se o aspecto dos provetes realizados para os diferentes ensaios. A mistura a que correspondem e o ensaio no qual foram utilizados apresentam-se sob a forma de matriz na Tabela 6.19.

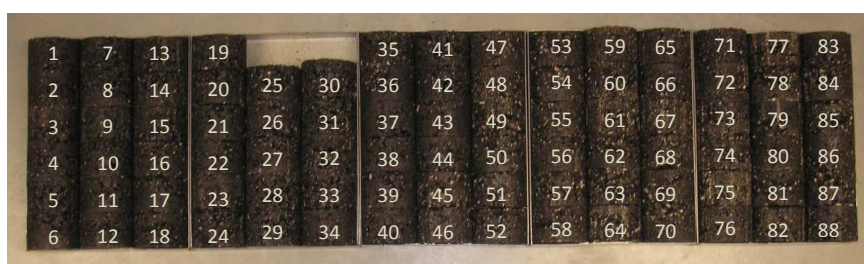


Figura 6.14 - Aspecto dos provetes

Tabela 6.19 - Identificação e distribuição dos provetes pelos ensaios

Identificação da mistura	Identificação dos provetes										
Granito sem Contaminante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Granito com 2% de Contaminante	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Granito com 4% de Contaminante	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Granito com 6% de Contaminante	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Calcário sem Contaminante	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Calcário com 2% de Contaminante	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
Calcário com 4% de Contaminante	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
Calcário com 6% de Contaminante	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88



Ensaio Marshall



Resistência Conservada
Grupo 1



Resistência Conservada
Grupo 2

Foram verificadas as dimensões dos provetes (Figura 6.15), que devem ter 101 mm de diâmetro e aproximadamente 63 mm de altura.

Os provetes foram ainda pesados secos e imersos em água e foi determinada a respectiva baridade aparente.



Figura 6.15 - Paquímetro

Os provetes de cada mistura foram divididos em dois grupos com aproximadamente a mesma baridade média. O primeiro grupo de provetes foi imerso em água a 60°C durante trinta minutos sendo a força de rotura de cada provete determinada através do ensaio de Marshall. O segundo grupo de provetes foi colocado num banho de água a 60°C durante vinte e quatro horas sendo, depois determinadas as forças de rotura de Marshall.

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes, foi calculado o valor médio da força de rotura de cada grupo de provetes, para as várias misturas.

Com os valores médios da força de rotura de cada grupo de provetes foi calculada a resistência conservada das misturas através da equação seguinte.

$$IRC = \frac{F_2}{F_1} \times 100 \quad (6.4)$$

F_1 - valor médio da força de rotura do grupo de provetes imersos em água durante trinta minutos

F_2 - valor médio da força de rotura do grupo de provetes imersos em água durante vinte e quatro horas

6.4.1. MBD - Granitos

Foram realizados oito provetes para cada mistura, sendo pesados secos e imersos em água. Depois de calculada a respectiva baridade, os provetes de cada mistura foram divididos em dois grupos com aproximadamente a mesma baridade média. Os dois grupos de provetes foram acondicionados de forma distinta e foi determinada a força de rotura de cada provete.

Os resultados do grupo de provetes imersos em água durante 30 minutos são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.20 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P1	P6	P9	P10
Granito sem Contaminante	Altura média (mm)	66,0	64,0	64,8	64,0
	Massa do provete seco (g)	1189,5	1199,8	1191,3	1192,7
	Massa do provete imerso (g)	674,0	690,0	681,7	687,2
	Baridade (g/cm ³)	2,31	2,35	2,34	2,36
	Força de rotura (kN)	10,2	10,8	7,6	9,6

Tabela 6.21 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P13	P15	P16	P18
Granito com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	63,1	64,0	64,9	64,0
	Massa do provete seco (g)	1190,6	1198,0	1193,3	1195,8
	Massa do provete imerso (g)	688,5	691,8	685,9	690,0
	Baridade (g/cm ³)	2,37	2,37	2,35	2,36
	Força de rotura (kN)	9,1	7,0	10,0	7,4

Tabela 6.22 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P23	P25	P29	P32
Granito com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	66,0	65,1	66,0	64,0
	Massa do provete seco (g)	1199,7	1198,3	1190,9	1198,2
	Massa do provete imerso (g)	686,0	685,4	675,3	692,9
	Baridade (g/cm ³)	2,34	2,34	2,31	2,37
	Força de rotura (kN)	8,8	7,7	8,9	5,0

Tabela 6.23 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P36	P38	P41	P42
Granito com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	64,2	64,0	64,2	64,2
	Massa do provete seco (g)	1197,3	1194,8	1198,2	1194,1
	Massa do provete imerso (g)	690,9	691,1	689,7	690,2
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,37	2,36	2,37
	Força de rotura (kN)	8,4	5,3	9,5	10,2

Os resultados do grupo de provetes imersos em água durante 24 horas são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.24 - Características dos provetes de Granito sem Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P2	P3	P5	P11
Granito sem Contaminante	Altura média (mm)	64,8	65,0	65,4	64,0
	Massa do provete seco (g)	1194,9	1195,0	1195,2	1195,7
	Massa do provete imerso (g)	684,6	683,5	682,8	690,0
	Baridade (g/cm ³)	2,34	2,34	2,34	2,36
	Força de rotura (kN)	6,0	7,1	9,9	9,1

Tabela 6.25 - Características dos provetes de Granito com 2% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P12	P14	P19	P20
Granito com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	66,0	64,0	64,8	63,1
	Massa do provete seco (g)	1195,1	1187,3	1199,5	1193,2
	Massa do provete imerso (g)	681,8	685,5	690,9	691,4
	Baridade (g/cm ³)	2,33	2,37	2,36	2,38
	Força de rotura (kN)	3,8	10,2	11,4	5,7

Tabela 6.26 - Características dos provetes de Granito com 4% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P26	P27	P28	P30
Granito com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	63,5	65,8	68,5	63,5
	Massa do provete seco (g)	1197,9	1195,3	1196,8	1193,0
	Massa do provete imerso (g)	694,0	681,9	673,2	691,5
	Baridade (g/cm ³)	2,38	2,33	2,28	2,38
	Força de rotura (kN)	7,7	6,8	6,5	8,3

Tabela 6.27 - Características dos provetes de Granito com 6% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P34	P35	P37	P39
Granito com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	63,8	64,8	63,9	64,9
	Massa do provete seco (g)	1197,7	1197,3	1192,8	1193,3
	Massa do provete imerso (g)	692,8	689,0	690,3	686,0
	Baridade (g/cm ³)	2,37	2,36	2,37	2,35
	Força de rotura (kN)	6,8	7,6	6,1	7,5

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes, foi calculado o valor médio da força de rotura de cada grupo de provetes.

Com os valores médios da força de rotura de cada grupo de provetes foi calculada a resistência conservada para as diferentes misturas (Tabela 6.28). Os valores obtidos estão representados nos gráficos da Figura 6.16.

Tabela 6.28 - Resultados do ensaio de resistência conservada para as diferentes misturas de Granito

Identificação da mistura	Ensaio		
	Característica	Provetes imersos 30 min. a 60°C	Provetes imersos 24 h a 60°C
Granito sem Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	9,55	8,04
	Resistência conservada Marshall (%)	84	
Granito com 2% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	8,98	7,78
	Resistência conservada Marshall (%)	87	
Granito com 4% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	8,76	7,32
	Resistência conservada Marshall (%)	84	
Granito com 6% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	8,35	7,00
	Resistência conservada Marshall (%)	84	

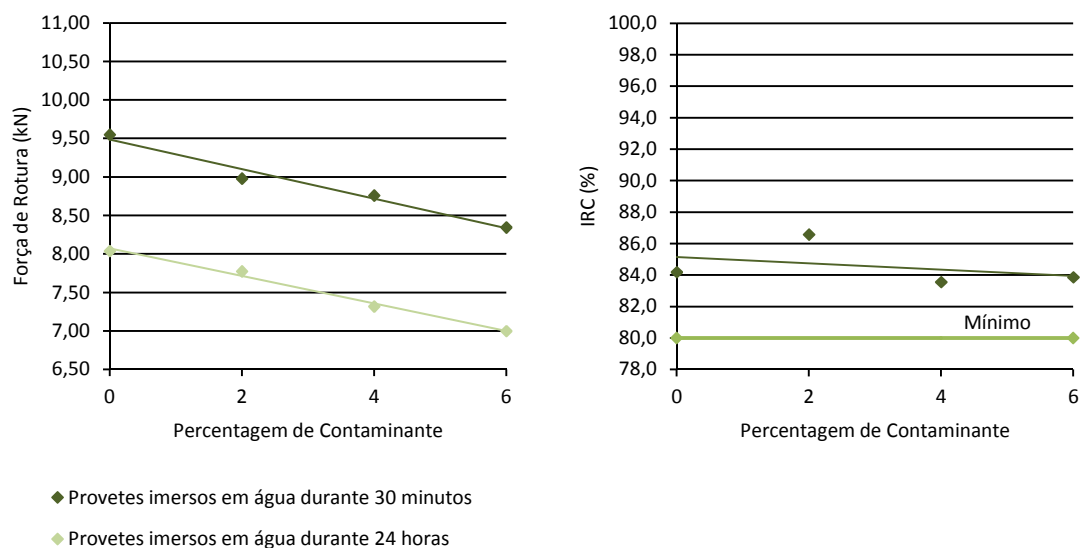


Figura 6.16 - Influência do contaminante na resistência conservada da mistura betuminosa de Granito

Com base nos resultados obtidos verifica-se que os provetes acondicionados em condições mais severas têm, tal como esperado, valores de resistência mais baixos. No entanto, a perda de resistência, em termos absolutos, dos provetes imersos em água durante 24 horas é idêntica à dos provetes imersos durante 30 minutos. Assim, a utilização de Granito contaminado com Caulino não altera significativamente a resistência conservada da mistura betuminosa. Na Figura 6.17 apresenta-se o aspecto de alguns dos provetes ensaiados.



Figura 6.17 - Aspecto dos provetes ensaiados

6.4.2. MBD - Calcários

Foram realizados oito provetes para cada mistura, sendo pesados secos e imersos em água. Depois de calculada a respectiva baridade, os provetes de cada mistura foram divididos em dois grupos com aproximadamente a mesma baridade média. Os dois grupos de provetes foram acondicionados de forma distinta e foi determinada a força de rotura de cada provete.

Os resultados do grupo de provetes acondicionados em condições menos adversas são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.29 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P45	P49	P51	P55
Calcário sem Contaminante	Altura média (mm)	63,0	65,0	63,2	63,4
	Massa do provete seco (g)	1193,8	1194,6	1195,2	1193,8
	Massa do provete imerso (g)	692,5	683,0	693,3	690,5
	Baridade (g/cm ³)	2,38	2,34	2,38	2,37
	Força de rotura (kN)	10,6	10,3	10,5	11,1

Tabela 6.30 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P56	P59	P61	P63
Calcário com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	63,9	63,6	64,1	65,1
	Massa do provete seco (g)	1195,6	1195,5	1187,8	1196,4
	Massa do provete imerso (g)	690,0	689,6	681,0	681,7
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,36	2,34	2,32
	Força de rotura (kN)	10,5	10,7	10,3	10,5

Tabela 6.31 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P67	P69	P76	P77
Calcário com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	64,0	64,2	63,0	64,8
	Massa do provete seco (g)	1196,5	1196,5	1175,9	1197,8
	Massa do provete imerso (g)	689,4	685,1	679,0	682,9
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,34	2,37	2,33
	Força de rotura (kN)	12,1	9,6	8,4	10,0

Tabela 6.32 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante (30 min)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P78	P81	P82	P85
Calcário com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	64,8	63,8	63,0	65,0
	Massa do provete seco (g)	1194,4	1194,4	1193,2	1194,2
	Massa do provete imerso (g)	684,2	687,4	692,2	678,8
	Baridade (g/cm ³)	2,34	2,36	2,38	2,32
	Força de rotura (kN)	9,2	11,9	7,6	10,7

Os resultados do grupo de provetes acondicionados em condições mais severas são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 6.33 - Características dos provetes de Calcário sem Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P50	P52	P53	P54
Calcário sem Contaminante	Altura média (mm)	63,8	64,0	65,0	64,0
	Massa do provete seco (g)	1200,5	1196,2	1194,2	1196,2
	Massa do provete imerso (g)	696,9	691,8	681,1	692,4
	Baridade (g/cm ³)	2,38	2,37	2,33	2,37
	Força de rotura (kN)	11,3	10,5	9,8	10,4

Tabela 6.34 - Características dos provetes de Calcário com 2% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P58	P60	P64	P65
Calcário com 2% de Contaminante	Altura média (mm)	63,9	64,0	64,5	65,0
	Massa do provete seco (g)	1198,0	1195,4	1198,3	1189,3
	Massa do provete imerso (g)	691,3	687,4	686,9	676,5
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,35	2,34	2,32
	Força de rotura (kN)	9,5	9,9	10,8	9,8

Tabela 6.35 - Características dos provetes de Calcário com 4% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P70	P72	P73	P74
Calcário com 4% de Contaminante	Altura média (mm)	65,2	64,0	64,5	65,9
	Massa do provete seco (g)	1197,6	1192,7	1197,5	1201,7
	Massa do provete imerso (g)	684,6	687,2	685,6	680,0
	Baridade (g/cm ³)	2,34	2,36	2,34	2,30
	Força de rotura (kN)	10,6	9,1	7,9	8,8

Tabela 6.36 - Características dos provetes de Calcário com 6% de Contaminante (24 horas)

Identificação da mistura	Característica	Identificação dos provetes			
		P80	P83	P87	P88
Calcário com 6% de Contaminante	Altura média (mm)	64,6	64,9	65,8	63,6
	Massa do provete seco (g)	1199,3	1193,9	1195,2	1197,7
	Massa do provete imerso (g)	691,8	681,9	676,9	690,6
	Baridade (g/cm ³)	2,36	2,33	2,31	2,36
	Força de rotura (kN)	8,8	8,7	8,8	9,0

Com base nos resultados obtidos para os vários provetes, foi calculado o valor médio da força de rotura de cada grupo de provetes.

Com os valores médios da força de rotura de cada grupo de provetes foi calculada a resistência conservada para as diferentes misturas (Tabela 6.37). Os valores obtidos estão representados nos gráficos da Figura 6.18.

Tabela 6.37 - Resultados do ensaio de resistência conservada para as diferentes misturas de Calcário

Identificação da mistura	Ensaio		
	Característica	Provetes imersos 30 min. a 60°C	Provetes imersos 24 h a 60°C
Calcário sem Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	10,63	10,50
	Resistência conservada Marshall (%)	99	
Calcário com 2% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	10,50	10,00
	Resistência conservada Marshall (%)	95	
Calcário com 4% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	10,03	9,10
	Resistência conservada Marshall (%)	91	
Calcário com 6% de Contaminante	Força de rotura Marshall média (kN)	9,85	8,83
	Resistência conservada Marshall (%)	90	

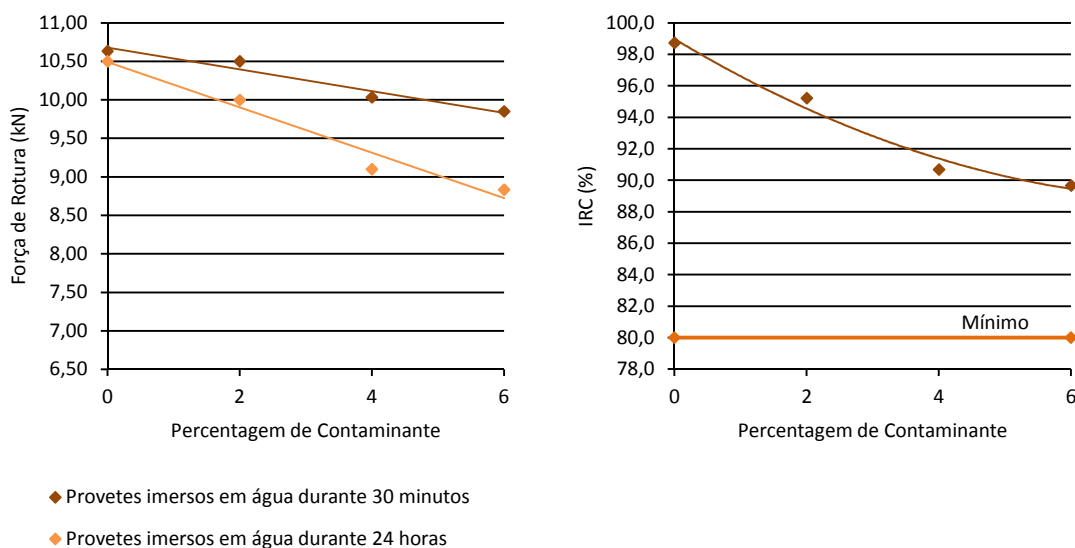


Figura 6.18 - Influência do contaminante na resistência conservada da mistura betuminosa de Calcário

Com base nos resultados obtidos verifica-se que a utilização de Calcário contaminado com Argila Vermelha altera significativamente a resistência conservada da mistura betuminosa.

Os provetes acondicionados em condições mais severas têm, como esperado, valores de resistência mais baixos. A perda de resistência dos provetes imersos em água durante 24 horas é bastante superior à dos provetes imersos durante 30 minutos, levando a que a resistência

conservada da mistura diminua com a percentagem de contaminante. No entanto, para a mistura de Calcário com 6% de contaminante o valor da resistência conservada é, ainda, superior ao valor mínimo exigido para este tipo de mistura betuminosa.

Capítulo 7

Conclusões

Este trabalho teve como principal objectivo estudar a influência da presença de contaminantes finos, aplicando as especificações técnicas relativas ao controlo de qualidade de agregados minerais, na qualidade final de misturas betuminosas.

Foram seleccionados os dois principais tipos de agregados utilizados em Portugal - Granito e Calcário - e caracterizados de acordo com a normativa europeia, na perspectiva da aplicação destes agregados em misturas betuminosas. Foram realizados os seguintes ensaios - análise granulométrica, equivalente de areia, azul de metileno, análise mineralógica e densidade das partículas.

No âmbito do estudo do comportamento dos finos nas misturas sem betume, foram contaminadas amostras de Granito e de Calcário com diferentes percentagens de contaminante e realizados ensaios para avaliação das propriedades das misturas de agregados com contaminantes - análise granulométrica, equivalente de areia e azul de metileno.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a presença dos contaminantes nos agregados é detectada mais facilmente com o ensaio do azul de metileno que com qualquer um dos outros ensaios, sendo um dos motivos que tem levado a que este ensaio tenha vindo gradualmente a substituir o ensaio do equivalente de areia.

Depois de caracterizados os agregados e os contaminantes foram produzidas quatro misturas de Granito e quatro de Calcário, nas quais foram utilizadas, respectivamente, Caulino e Argila Vermelha para substituir parte do material fino das misturas betuminosas. Foi, então,

caracterizado o seu comportamento através do método de Marshall e estudadas as propriedades relacionadas com o seu desempenho.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a utilização de Granito contaminado com Caulino diminui a estabilidade da mistura. Relativamente à variação da deformação da mistura com a percentagem de contaminante não existe uma tendência definida. No entanto, estes resultados podem estar relacionados com as condições de fabrico dos provetes uma vez que os provetes foram moldados em dias diferentes, com temperaturas ambiente também bastante diferentes.

Verificou-se também, neste estudo, que a utilização de Granito contaminado com Caulino não altera a resistência conservada da mistura betuminosa.

Ao contrário do que aconteceu com o Granito, através dos resultados obtidos, verificou-se que a utilização de Calcário contaminado com Argila Vermelha leva a uma alteração significativa das características mecânicas da mistura betuminosa.

A utilização de Calcário contaminado com Argila Vermelha diminui a estabilidade e aumenta a deformação da mistura betuminosa.

A resistência conservada da mistura diminui com o aumento da percentagem de contaminante. No entanto, o valor da resistência conservada da mistura de Calcário com 6% de contaminante é superior ao valor mínimo exigido para este tipo de mistura betuminosa.

Verificou-se ainda que todas as percentagens de contaminante utilizadas conduziram a misturas que cumprem as especificações requeridas para a utilização em misturas betuminosas densas para camadas de regularização de pavimentos rodoviários.

As condições de fabrico dos provetes foram as principais limitações encontradas durante a realização deste trabalho, uma vez que não foi possível moldar os provetes na mesma semana e por isso as condições de temperatura ambiente foram distintas.

A influência do contaminante no agregado de Granito é muito pouco significativa e a influência da variação da temperatura ambiente na moldagem dos provetes sobrepõe-se.

Para este estudo foi utilizada uma mistura betuminosa densa utilizada em camadas de regularização de pavimentos, que quando aplicada nos pavimentos será sempre protegida por uma camada de desgaste. Como a camada de desgaste é a camada superior do pavimento que

está sujeita à acção directa do tráfego, seria também importante fazer estudos semelhantes para este tipo de camada com os materiais habituais destas camadas.

Também seria interessante estudar alguns dos outros contaminantes mais frequentes nos agregados, verificar a sua influência na estabilidade e na resistência conservada das misturas betuminosas e, com base nos resultados obtidos propor limites a considerar na utilização destes contaminantes em misturas betuminosas.

Seria ainda importante caracterizar outras misturas e utilizar outros tipos de betumes para, assim, constituir um primeiro passo para o estabelecimento de parâmetros de referência a utilizar em documentos de consulta associados à construção de infra-estruturas rodoviárias.

Bibliografia

ASTM D 2487-85. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. American Society for Testing and Materials

Azevedo, M. e Cardoso, M. (2003). *Reciclagem a quente em central betuminosa*. II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários - Reciclagem de Pavimentos. Porto: Portugal

Batista, F. e Antunes, M. (2009). *Ensaio de comparação interlaboratorial para avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas compactadas*. Relatório 0/2009 - NIRA/DT. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 36 p.

Batista, F., Antunes, M. e Fonseca, P. (s/d). *Avaliação da sensibilidade à água de misturas betuminosas com betume modificado com alta percentagem de borracha*, 10 p.

Branco, F., Pereira, P., e Picado Santos, L. (2005). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra: Almedina, 388 p.

Bibliografia

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia (2010). *Áreas sectoriais: minas e pedreiras - pedreiras*. Acedido em 04 de Janeiro de 2010, no Web site da: Direcção Geral de Energia e Geologia: <http://www.dgge.pt/>.

Estradas de Portugal, S. A. (EP) (2009). *Caderno de encargos tipo obra: 14.03 - pavimentação*. Acedido em 08 de Novembro de 2009, no Web site de: Estradas de Portugal: <http://www.estradasdeportugal.pt/index.php/pt/phoca-download-/category/14-empresendimentos>.

Feire, A. (2004). *Palestra sobre agregados para misturas betuminosas*. Acedido em 01 de Outubro de 2009, no Web site da: Faculdade de Ciências e Tecnologia: http://www.dec.fct.unl.pt/UNIC_ENG/palestras/Ciclo_Palestras_2004/palestras_Rocha/PalestraAMB.pdf.

Freire, A. (2005). *Agregados para construção rodoviária: Materiais convencionais e materiais alternativos*. Plano de Investigação Programada - LNEC 2005-2008. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 4 p.

Gomes, C. (1986). *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 457 p.

Jacinto, M. (2003). *Caracterização estrutural de pavimentos*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto. 206 p.

LNEC (2006). *Aplicação de métodos de ensaio especificados em normas europeias de agregados*. Relatório 224/2006 - NIT. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Lopes, S. (2010). *Nova legislação para marcação CE*. Acedido em 22 de Outubro de 2009, no Web site da: Visa - Consultores de Geologia Aplicada e Engenharia Ambiente S. A. : http://www.visaconsultores.com/pdf/sl_com.pdf.

Luzia, R. (2008). *Camadas não ligadas em pavimentos rodoviários: estudo do comportamento*. Coimbra: Almedina, 334 p.

Matos, L. (2005). *Estudo de agregados para infra-estruturas rodoviárias segundo a normalização europeia*. Relatório 428/05 - DG/NGE. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 228 p.

Matos, L., Jeremias, F., e Freire, A. (2006). Agregados aplicáveis em infra-estruturas rodoviárias segundo a normalização europeia. Em: *10º Congresso Nacional de Geotecnia*. Lisboa, 2006, pp. 513 - 522

NP EN 1097-6:2003 - *“Ensaaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água”*. Lisboa, IPQ

NP EN 933-1:2000 - *“Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 1: Análise granulométrica”*. Lisboa, IPQ

NP EN 933-8:2002 - *“Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 8: Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia”*. Lisboa, IPQ

NP EN 933-9:2002 - *“Ensaaios das propriedades geométricas dos agregados, Parte 9: Determinação do teor de finos - Ensaio do azul de metileno”*. Lisboa, IPQ

Bibliografia

NP-142:1968 - "*Misturas betuminosas. Ensaio de compressão Marshall*". Lisboa, IPQ

NP-143:1969 - "*Solos. Determinação dos limites de consistência*". Lisboa, IPQ

NP-83:1965 - "*Solos. Determinação da densidade das partículas*". Lisboa, IPQ

Oliveira, P. (2000). *Projecto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*.

Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo: São Paulo. 246 p.

Paiva, J. (2002). Directiva dos produtos de construção. Em: Seminário "*Qualidade na construção: estado actual e tendências; qualificação, certificação e formação*". Faro: LNEC, 2002, pp. 1 - 27

Paiva, J. (2005). Aprovação técnica europeia - a via para a marcação CE dos produtos de construção inovadores. Em: Seminário "*Normas harmonizadas e marcação dos produtos de construção*". Porto: LNEC, 2004, pp. 1 - 31

Pereira, O. (1971). *Pavimentos rodoviários* - volume 4. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Pestana, R. (2008). *Contribuição para o estudo do comportamento mecânico de resíduos de construção e demolição aplicados em estradas de baixo tráfego*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa. 153 p.


Pinto, J. (2003). *Caracterização superficial de pavimentos rodoviários*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto. 261 p.

Silva, L. (2009). *Pavimentos aeroportuários: análise de soluções rígidas e de soluções flexíveis*. Dissertação para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Aveiro: Aveiro. 162 p.

Sobreiro, M. (2006). A Indústria Extractiva em Portugal Continental no Período de 2001 a 2005 - Elementos Estatísticos. *Boletim de Minas*, 41 (2) pp. 187 - 223.

Velho, J., Gomes, C., e Romariz, C. (1998). *Minerais industriais: geologia, propriedades, tratamentos, aplicações, especificações, produções e mercados*. Coimbra: Gráfica de Coimbra, Lda, 591 p.

Anexo I



Universidade de Aveiro

LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
NP EN 933 - 1:2002

Identificação da amostra
Pó de Pedra - Granito

Data
10 de Março de 2010

Procedimento usado
Lavagem e peneiração ou peneiração seca

Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, M ₁	1011,53 g
Massa seca após lavagem, M ₂	901,70 g
Massa seca dos finos removidos por lavagem, M ₁ -M ₂	109,83 g

Peneiração a seco

Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
2" 1/2	63.0	0	0	0	100
1" 1/4	31.5	0	0	0	100
5/8"	16.0	0	0	0	100
5/16"	8.0	9.40	0.93	0.93	99.07
5	4.0	103.07	10.19	11.12	88.88
10	2.0	254.97	25.21	36.33	63.67
18	1.0	212.46	21.00	57.33	42.67
35	0.500	137.03	13.55	70.88	29.12
60	0.250	90.29	8.93	79.80	20.20
120	0.125	59.94	5.93	85.73	14.27
230	0.063	32.61	3.22	88.95	11.05
-	Fundo, P	1.17	0.12	89.07	10.93
Soma de controlo, SC		900.94			

Percentagem de finos que passa no peneiro de 63 µm


$$\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 = 10,97$$

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,084\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura I.1 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro

LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
NP EN 933 - 1:2002

Identificação da amostra
Pó de Pedra - Calcário

Data
22 de Julho de 2010

Procedimento usado
Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, M ₁	1004,04 g
Massa seca após lavagem, M ₂	896,39 g
Massa seca dos finos removidos por lavagem, M ₁ -M ₂	107,65 g

Peneiração a seco

Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
2" 1/2	63,0	0	0	0	100
1" 1/4	31,5	0	0	0	100
5/8"	16,0	0	0	0	100
5/16"	8,0	0	0	0	100
5	4,0	23,43	2,33	2,33	97,67
10	2,0	262,54	26,15	28,48	71,52
18	1,0	244,20	24,32	52,80	47,20
35	0,500	172,51	17,18	69,99	30,01
60	0,250	111,09	11,06	81,05	18,95
120	0,125	59,25	5,90	86,95	13,05
230	0,063	23,11	2,30	89,25	10,75
-	Fundo, P	0,24	0,02	89,28	10,72
Soma de controlo, SC		896,37			

Percentagem de finos que passa no peneiro de 63 µm


$$\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 = 10,75$$

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,002\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura I.2 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
NP EN 933 - 1:2002

Identificação da amostra
Argila Vermelha

Data
31 de Maio de 2010

Procedimento usado
Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

Lavagem no peneiro de 63 µm

Massa seca total, M ₁	222,00 g
Massa seca após lavagem, M ₂	52,70 g
Massa seca dos finos removidos por lavagem, M ₁ -M ₂	169,30 g

Peneiração a seco

Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
2" 1/2	63.0	0	0	0	100
1" 1/4	31.5	0	0	0	100
5/8"	16.0	0	0	0	100
5/16"	8.0	1.50	0.68	0.68	99.32
5	4.0	8.70	3.92	4.59	95.41
10	2.0	10.70	4.82	9.41	90.59
18	1.0	9.02	4.06	13.48	86.52
35	0.500	5.56	2.50	15.98	84.02
60	0.250	6.90	3.11	19.09	80.91
120	0.125	6.96	3.14	22.23	77.77
230	0.063	2.99	1.35	23.57	76.43
-	Fundo, P	0.35	0.16	23.73	76.27
Soma de controlo, SC		52.68			

Percentagem de finos que passa no peneiro de 63 µm

$$\frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 = 76,42$$

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,038\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura I.3 - Análise granulométrica da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.

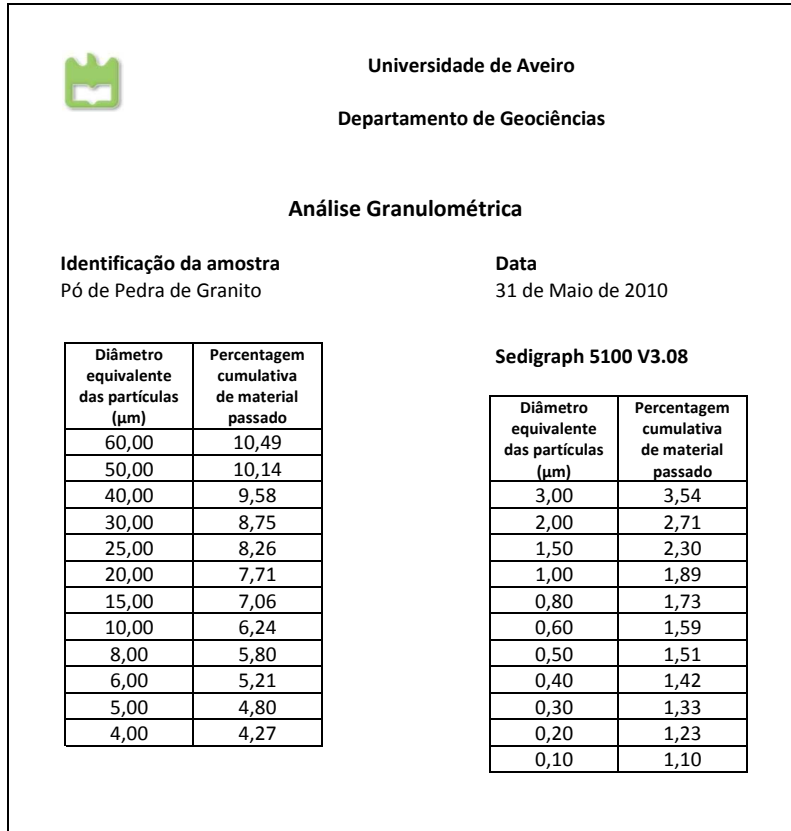


Figura I.4 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Granito. Sedigraph.

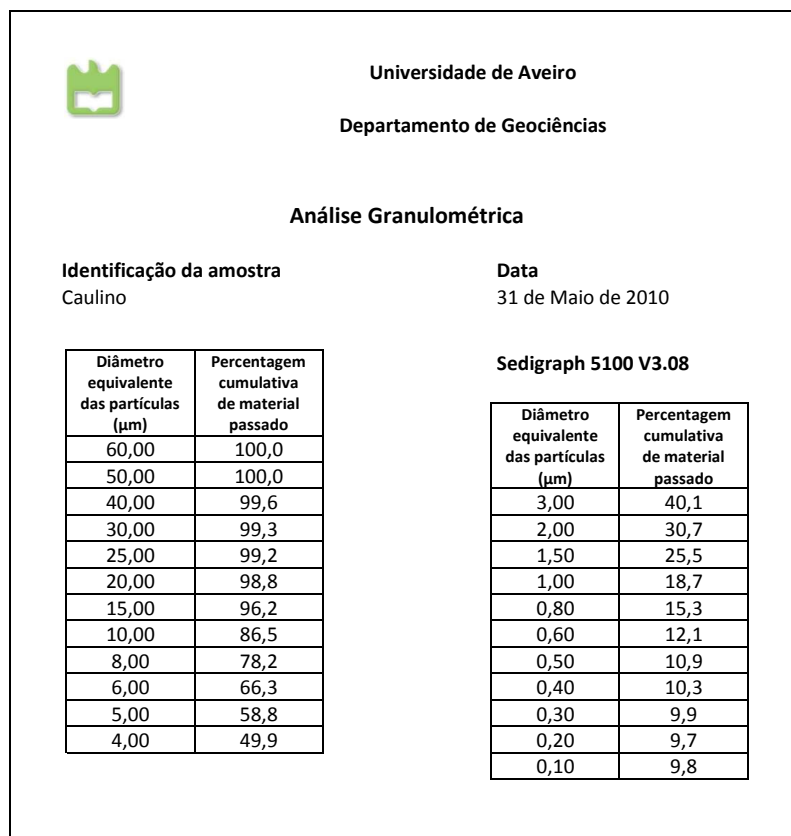


Figura I.5 - Análise granulométrica do Caulino. Sedigraph.

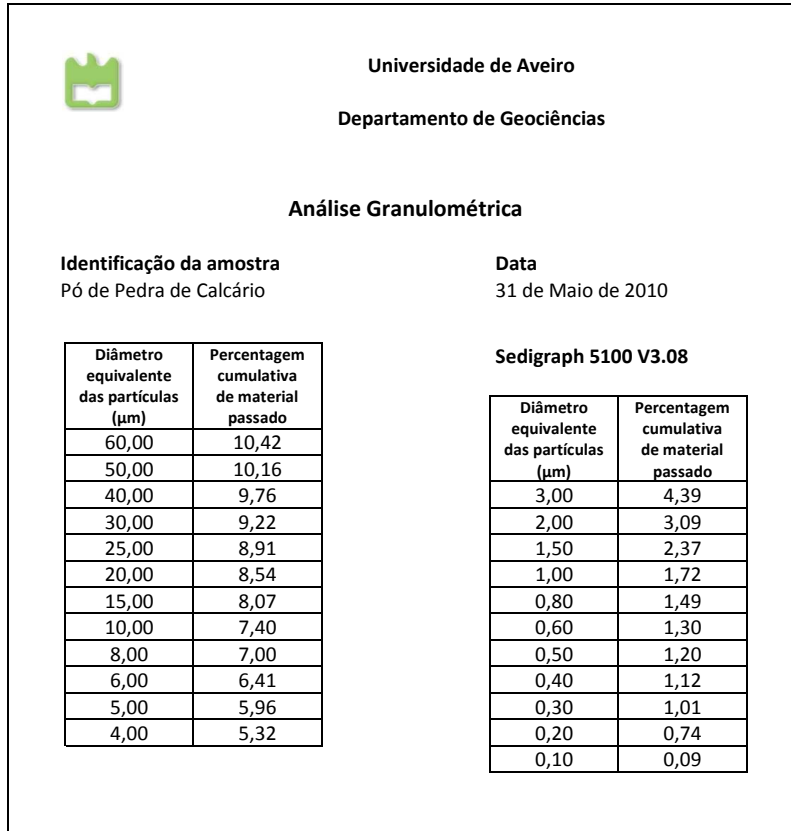


Figura I.6 - Análise granulométrica do Pó de Pedra de Calcário. Sedigraph.

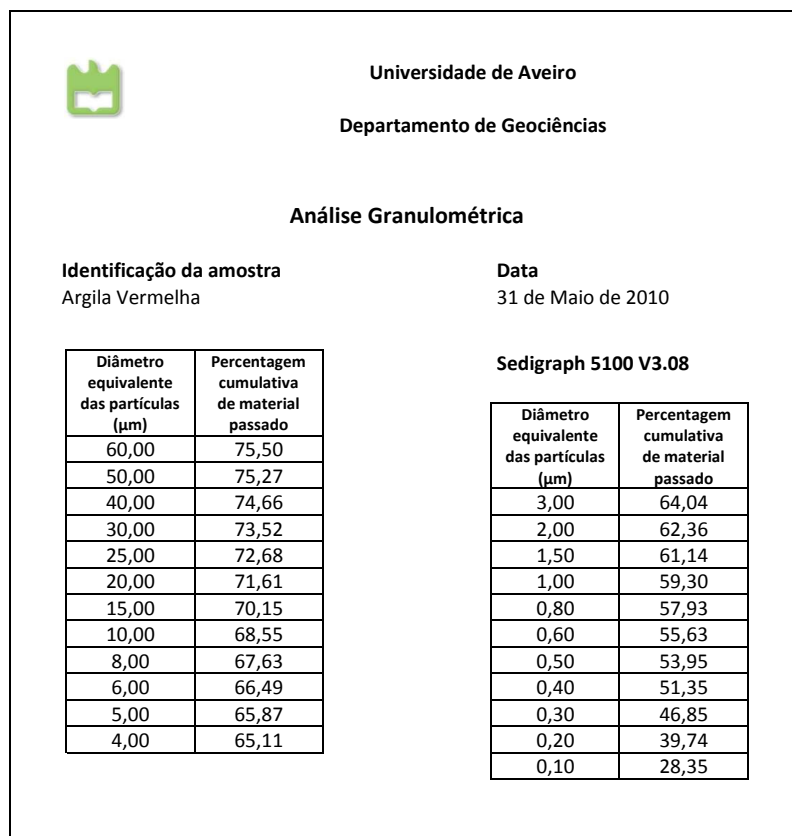


Figura I.7 - Análise granulométrica da Argila Vermelha. Sedigraph.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 24 de Março de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra - Granito</p>		
<p>Provetas 1</p>		
Massa do provete, M		120,23 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		125 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		73 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		58,4 %
<p>Provetas 2</p>		
Massa do provete, M		120,47 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		125 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		71 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		56,8 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,6% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	58 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.8 - Equivalente de areia do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 20 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra - Calcário</p>		
<p>Proveta 1</p>		
Massa do provete, M		120,05 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		151 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		84 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		55,6 %
<p>Proveta 2</p>		
Massa do provete, M		120,04 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		152 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		86 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		56,6 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,0% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	56 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.9 - Equivalente de areia do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.



 	Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno	
Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002	Data 17 de Março de 2010
Identificação da amostra Pó de Pedra - Granito	
Provete 1	
Massa do provete, M_1	202,01 g
Volume de solução corante adicionado, V_1	16 ml
<i>Valor do Azul de Metileno, MB</i>	0,8 g/kg
Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.	

Figura I.10 - Azul de metileno do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002</p>	<p>Data 3 de Dezembro de 2009</p>	
<p>Identificação da amostra Caulino</p>		
<p>Provete 1</p>		
<p>Massa do provete, M_1</p>	<p align="right">30,00 g</p>	
<p>Volume de solução corante adicionado, V_1</p>	<p align="right">22 ml</p>	
<p><i>Valor do Azul de Metileno, MB</i></p>		<p align="right">7,3 g/kg</p>
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.</p>		

Figura I.11 - Azul de metileno do Caulino. Folha de registo do ensaio.



		Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil		
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno		
Norma de ensaio	Data	
NP EN 933 - 9:2002	28 de Julho de 2010	
Identificação da amostra		
Pó de Pedra - Calcário		
Provete 1		
Massa do provete, M_1		200,68 g
Volume de solução corante adicionado, V_1		25 ml
<i>Valor do Azul de Metileno, MB</i>		1,2 g/kg
Material usado		
Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.		

Figura I.12 - Azul de metileno do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002</p>	<p>Data 8 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Argila Vermelha</p>		
<p>Provete 1</p>		
<p>Massa do provete, M_1</p>	<p align="right">15,64 g</p>	
<p>Volume de solução corante adicionado, V_1</p>	<p align="right">65 ml</p>	
<p><i>Valor do Azul de Metileno, MB</i></p>		<p>41,6 g/kg</p>
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.</p>		

Figura I.13 - Azul de metileno da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Limite de Liquidez</p>		
<p>Norma de ensaio NP - 143:1969</p>	<p>Data 26 de Setembro de 2011</p>	
<p>Identificação da amostra Caulino</p>		
<p>Cápsula 1</p>		
Massa da cápsula		28,42 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		50,94 g
Massa da cápsula com a amostra seca		42,89 g
Número de pancadas		9
<p>Cápsula 2</p>		
Massa da cápsula		27,20 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		53,22 g
Massa da cápsula com a amostra seca		44,61 g
Número de pancadas		18
<p>Cápsula 3</p>		
Massa da cápsula		28,53 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		53,04 g
Massa da cápsula com a amostra seca		45,48 g
Número de pancadas		30
<p>Cápsula 4</p>		
Massa da cápsula		27,52 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		56,12 g
Massa da cápsula com a amostra seca		48,56 g
Número de pancadas		42
<p><i>Limite de Liquidez</i></p>		45 %

Figura I.14 - Limite de liquidez do Caulino. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Limite de Liquidez</p>		
<p>Norma de ensaio NP - 143:1969</p>	<p>Data 22 de Setembro de 2011</p>	
<p>Identificação da amostra Argila Vermelha</p>		
<p>Cápsula 1</p>		
Massa da cápsula		29,40 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		55,15 g
Massa da cápsula com a amostra seca		47,40 g
Número de pancadas		10
<p>Cápsula 2</p>		
Massa da cápsula		27,58 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		54,73 g
Massa da cápsula com a amostra seca		46,69 g
Número de pancadas		23
<p>Cápsula 3</p>		
Massa da cápsula		28,92 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		55,93 g
Massa da cápsula com a amostra seca		48,01 g
Número de pancadas		34
<p>Cápsula 4</p>		
Massa da cápsula		28,53 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		55,92 g
Massa da cápsula com a amostra seca		47,92 g
Número de pancadas		43
<p><i>Limite de Liquidez</i></p>		42 %

Figura I.15 - Limite de liquidez da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Limite de Plasticidade</p>		
<p>Norma de ensaio NP - 143:1969</p>	<p>Data 26 de Setembro de 2011</p>	
<p>Identificação da amostra Caulino</p>		
<p>Cápsula 1</p>		
Massa da cápsula		27,21 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		29,31 g
Massa da cápsula com a amostra seca		28,79 g
<p>Cápsula 2</p>		
Massa da cápsula		26,24 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		28,87 g
Massa da cápsula com a amostra seca		28,23 g
<p>Cápsula 3</p>		
Massa da cápsula		26,45 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		29,27 g
Massa da cápsula com a amostra seca		28,58 g
<p>Cápsula 4</p>		
Massa da cápsula		29,40 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		31,67 g
Massa da cápsula com a amostra seca		31,10 g
<p><i>Limite de Plasticidade, LP</i></p>		<p>33 %</p>

Figura I.16 - Limite de plasticidade do Caulino. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Limite de Plasticidade</p>		
<p>Norma de ensaio NP - 143:1969</p>	<p>Data 22 de Setembro de 2011</p>	
<p>Identificação da amostra Argila Vermelha</p>		
<p>Cápsula 1</p>		
Massa da cápsula		29,35 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		30,84 g
Massa da cápsula com a amostra seca		30,63 g
<p>Cápsula 2</p>		
Massa da cápsula		28,44 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		31,33 g
Massa da cápsula com a amostra seca		30,89 g
<p>Cápsula 3</p>		
Massa da cápsula		27,14 g
Massa da cápsula com a amostra húmida		30,14 g
Massa da cápsula com a amostra seca		29,67 g
<p>Cápsula 4</p>		
Massa da cápsula		
Massa da cápsula com a amostra húmida		
Massa da cápsula com a amostra seca		
<p><i>Limite de Plasticidade, LP</i></p>		<p>18 %</p>

Figura I.17 - Limite de plasticidade da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.

Controlo de Qualidade de Agregados Finos de Misturas Betuminosas

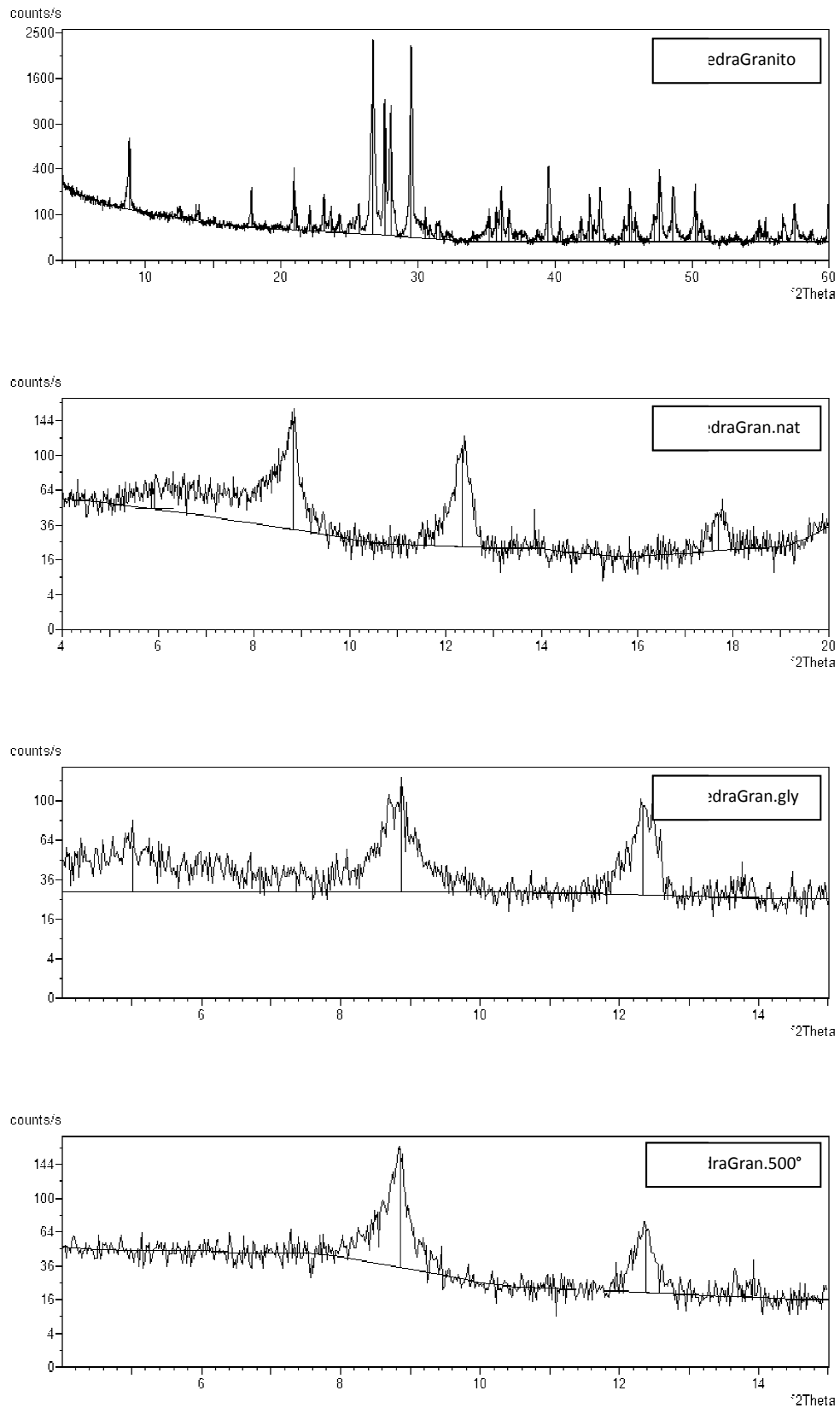


Figura I.18 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Granito

Anexos

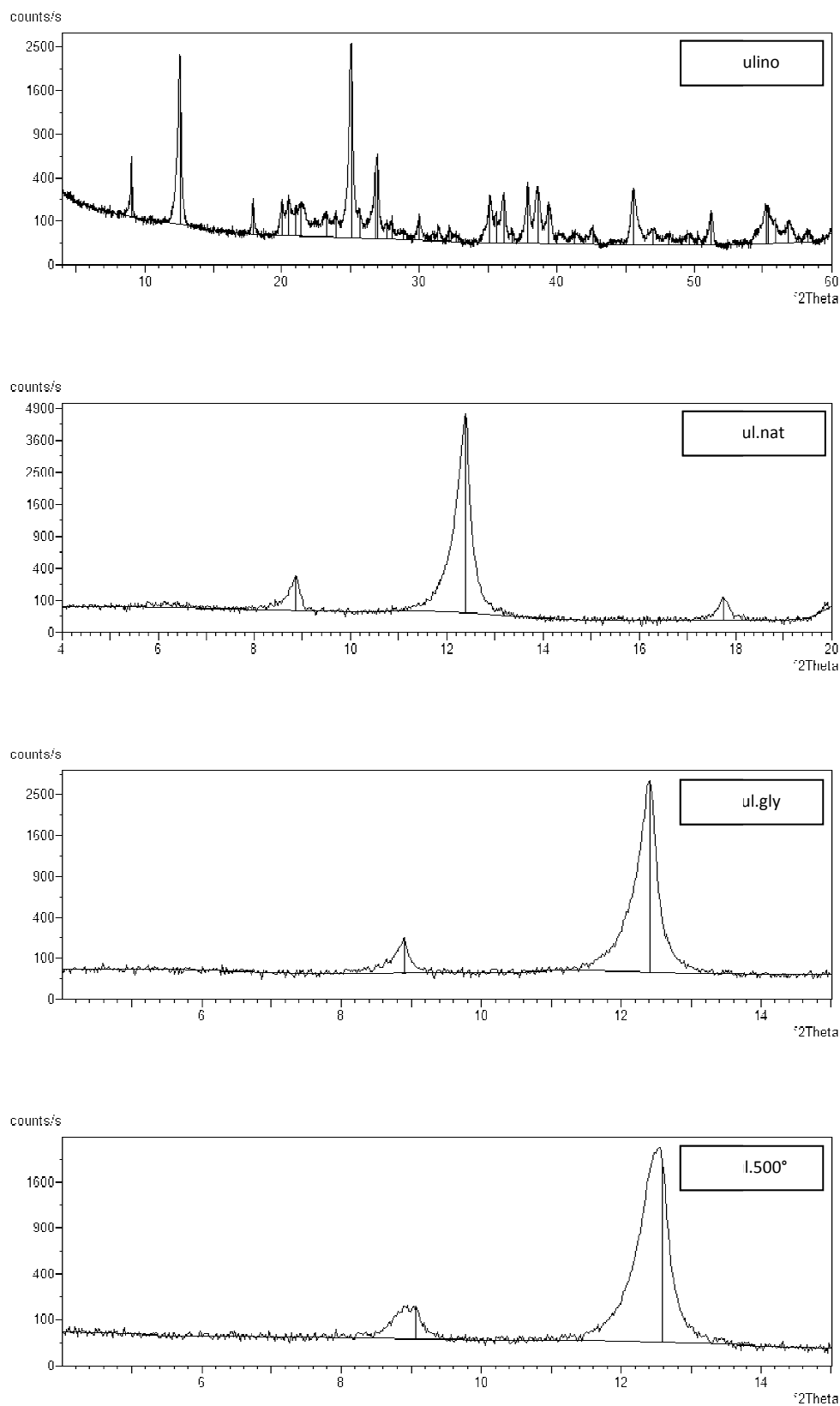


Figura I.19 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Caulino

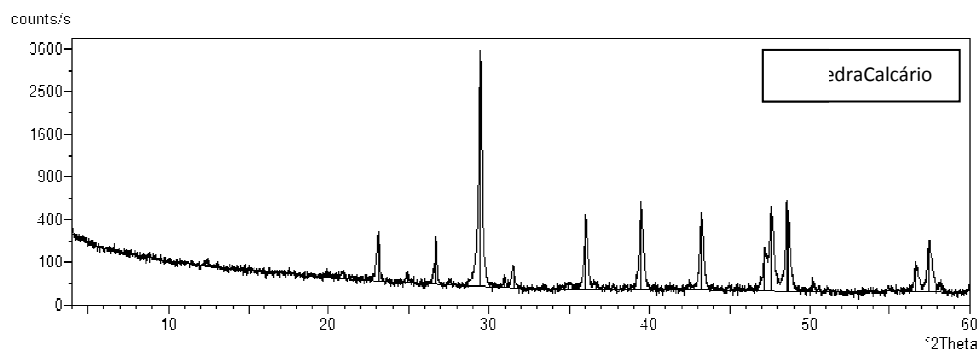


Figura I.20 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Calcário

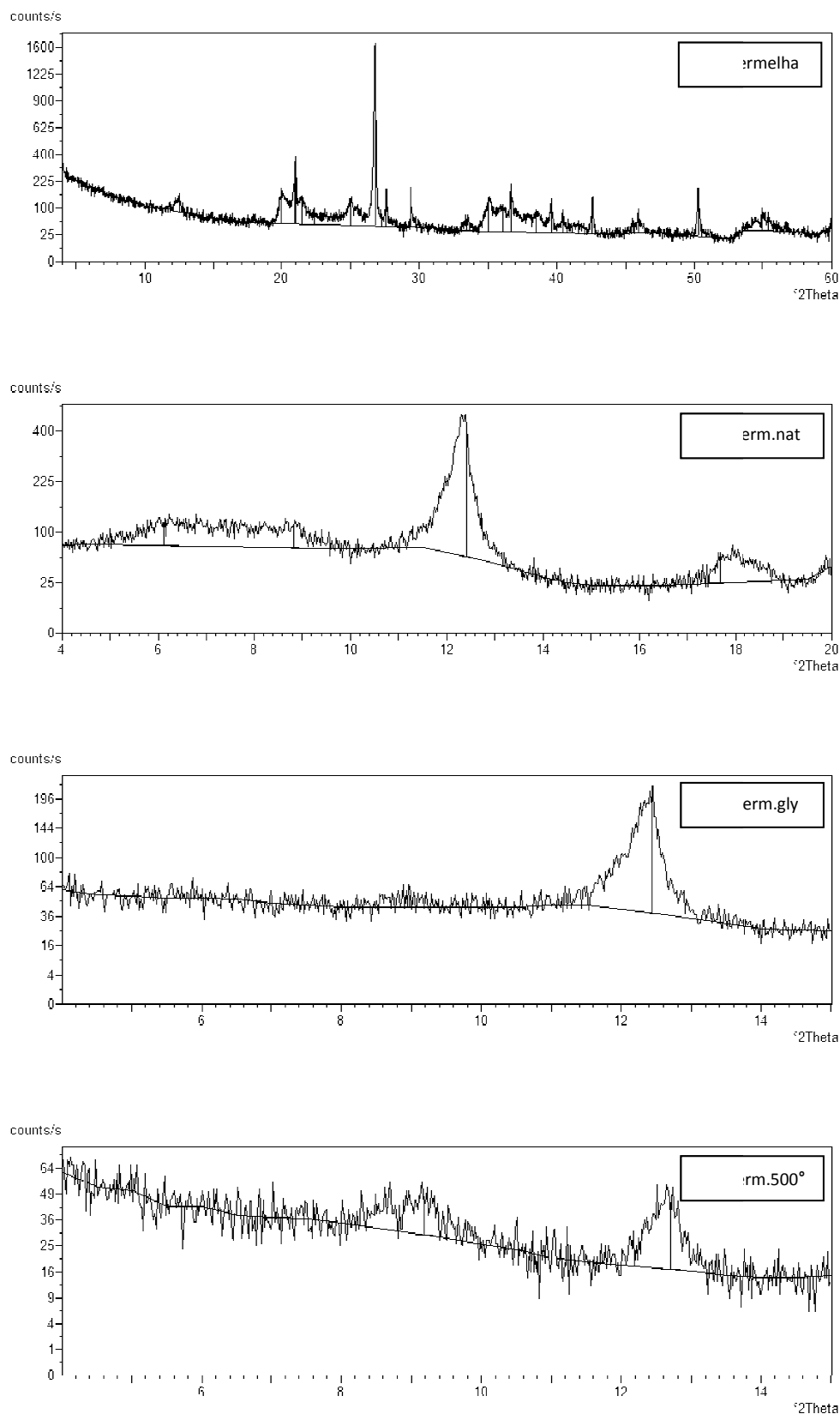


Figura I.21 - Diagramas de difracção de raio-X da amostra de Argila Vermelha


	
Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil	
Determinação da Densidade das Partículas	
Norma de ensaio NP - 83:1965	Data 25 de Agosto de 2010
Identificação da amostra Pó de Pedra - Granito	Procedimento usado Sem ou com secagem prévia do provete
Calibração do picnómetro	
Massa do picnómetro, m_1	45,26 g
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1 , m_1	153,48 g
Temperatura da água, t_1	24 °C
Densidade da água à temperatura t_1	0,99733
Temperatura da água, t_x	24 °C
Densidade da água à temperatura t_x	0,99733
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_x , m_3	153,48 g
Massa do provete seco, m_4	25,59 g
Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x	169,44 g
Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k	0,999
<i>Densidade das partículas, à temperatura t_x, em relação à água destilada a 20 °C</i>	2,65 g/cm³
Material usado Estufa; Balança; Picnómetro; Termómetro; Cápsula de porcelana; Exsicador.	

Figura I.22 - Determinação da densidade das partículas do Pó de Pedra de Granito. Folha de registo do ensaio.


	<p>Universidade de Aveiro</p> <p>LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>																						
<p>Determinação da Densidade das Partículas</p>																							
<p>Norma de ensaio NP - 83:1965</p>	<p>Data 25 de Agosto de 2010</p>																						
<p>Identificação da amostra Caulino</p>	<p>Procedimento usado Sem ou com secagem prévia do provete</p>																						
<p>Calibração do picnómetro</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Massa do picnómetro, m_1</td> <td style="text-align: right;">42,27 g</td> </tr> <tr> <td>Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1, m_1</td> <td style="text-align: right;">142,44 g</td> </tr> <tr> <td>Temperatura da água, t_1</td> <td style="text-align: right;">24 °C</td> </tr> <tr> <td>Densidade da água à temperatura t_1</td> <td style="text-align: right;">0,99733</td> </tr> <tr> <td>Temperatura da água, t_x</td> <td style="text-align: right;">24 °C</td> </tr> <tr> <td>Densidade da água à temperatura t_x</td> <td style="text-align: right;">0,99733</td> </tr> <tr> <td>Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_w, m_3</td> <td style="text-align: right;">142,44 g</td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Massa do provete seco, m_4</td> <td style="text-align: right;">25,36 g</td> </tr> <tr> <td>Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x</td> <td style="text-align: right;">157,49 g</td> </tr> <tr> <td>Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k</td> <td style="text-align: right;">0,999</td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;"> <p><i>Densidade das partículas, à temperatura t_w, em relação à água destilada a 20 °C</i></p> </td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;"> <p>2,46 g/cm³</p> </td> </tr> </table>		Massa do picnómetro, m_1	42,27 g	Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1 , m_1	142,44 g	Temperatura da água, t_1	24 °C	Densidade da água à temperatura t_1	0,99733	Temperatura da água, t_x	24 °C	Densidade da água à temperatura t_x	0,99733	Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_w , m_3	142,44 g	Massa do provete seco, m_4	25,36 g	Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x	157,49 g	Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k	0,999	<p><i>Densidade das partículas, à temperatura t_w, em relação à água destilada a 20 °C</i></p>	<p>2,46 g/cm³</p>
Massa do picnómetro, m_1	42,27 g																						
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1 , m_1	142,44 g																						
Temperatura da água, t_1	24 °C																						
Densidade da água à temperatura t_1	0,99733																						
Temperatura da água, t_x	24 °C																						
Densidade da água à temperatura t_x	0,99733																						
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_w , m_3	142,44 g																						
Massa do provete seco, m_4	25,36 g																						
Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x	157,49 g																						
Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k	0,999																						
<p><i>Densidade das partículas, à temperatura t_w, em relação à água destilada a 20 °C</i></p>	<p>2,46 g/cm³</p>																						
<p>Material usado Estufa; Balança; Picnómetro; Termómetro; Cápsula de porcelana; Exsicador.</p>																							

Figura I.23 - Determinação da densidade das partículas do Caulino. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação da Densidade das Partículas</p>		
<p>Norma de ensaio NP - 83:1965</p>	<p>Data 25 de Agosto de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra - Calcário</p>	<p>Procedimento usado Sem ou com secagem prévia do provete</p>	
<p>Calibração do picnómetro</p>		
Massa do picnómetro, m_1		41,72 g
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1 , m_1		148,22 g
Temperatura da água, t_1		24 °C
Densidade da água à temperatura t_1		0,99733
Temperatura da água, t_x		24 °C
Densidade da água à temperatura t_x		0,99733
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_x , m_3		148,22 g
Massa do provete seco, m_4		25,46 g
Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x		164,26 g
Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k		0,999
<p><i>Densidade das partículas, à temperatura t_x, em relação à água destilada a 20 °C</i></p>		2,70 g/cm ³
<p>Material usado Estufa; Balança; Picnómetro; Termómetro; Cápsula de porcelana; Exsicador.</p>		

Figura I.24 - Determinação da densidade das partículas do Pó de Pedra de Calcário. Folha de registo do ensaio.


	Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil
Determinação da Densidade das Partículas	
Norma de ensaio NP - 83:1965	Data 25 de Agosto de 2010
Identificação da amostra Argila Vermelha	Procedimento usado Sem ou com secagem prévia do provete
Calibração do picnómetro	
Massa do picnómetro, m_1	53,66 g
Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_1 , m_1	159,02 g
Temperatura da água, t_1	24 °C
Densidade da água à temperatura t_1	0,99733
Temperatura da água, t_x	24 °C
Densidade da água à temperatura t_x	0,99733
<i>Massa do picnómetro cheio de água, à temperatura t_w, m_3</i>	159,02 g
Massa do provete seco, m_4	
Massa do picnómetro com o provete e a água à temperatura t_x	174,78 g
Quociente da densidade da água à temperatura t_x pela densidade da água a 20 °C, k	0,999
<i>Densidade das partículas, à temperatura t_w, em relação à água destilada a 20 °C</i>	
	2,65 g/cm ³
Material usado Estufa; Balança; Picnómetro; Termómetro; Cápsula de porcelana; Exsicador.	

Figura I.25 - Determinação da densidade das partículas da Argila Vermelha. Folha de registo do ensaio.

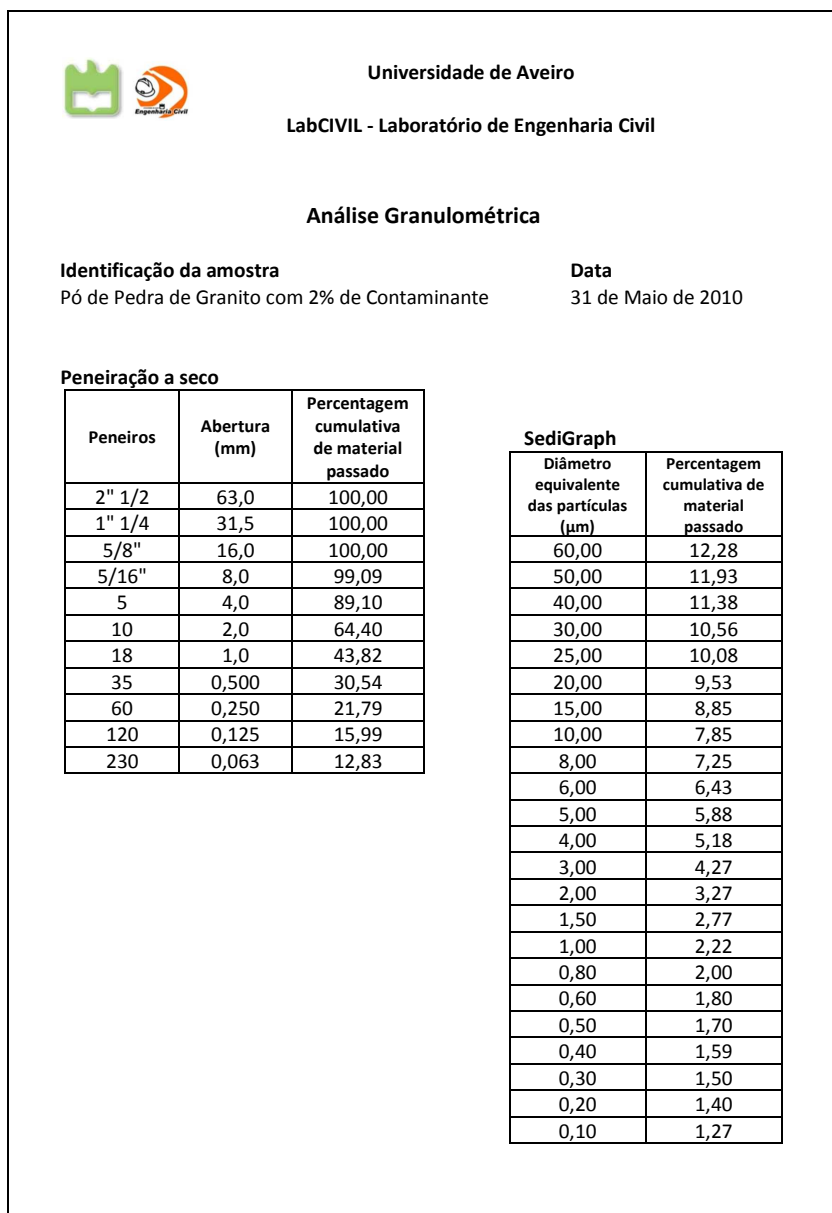


Figura I.26 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante.

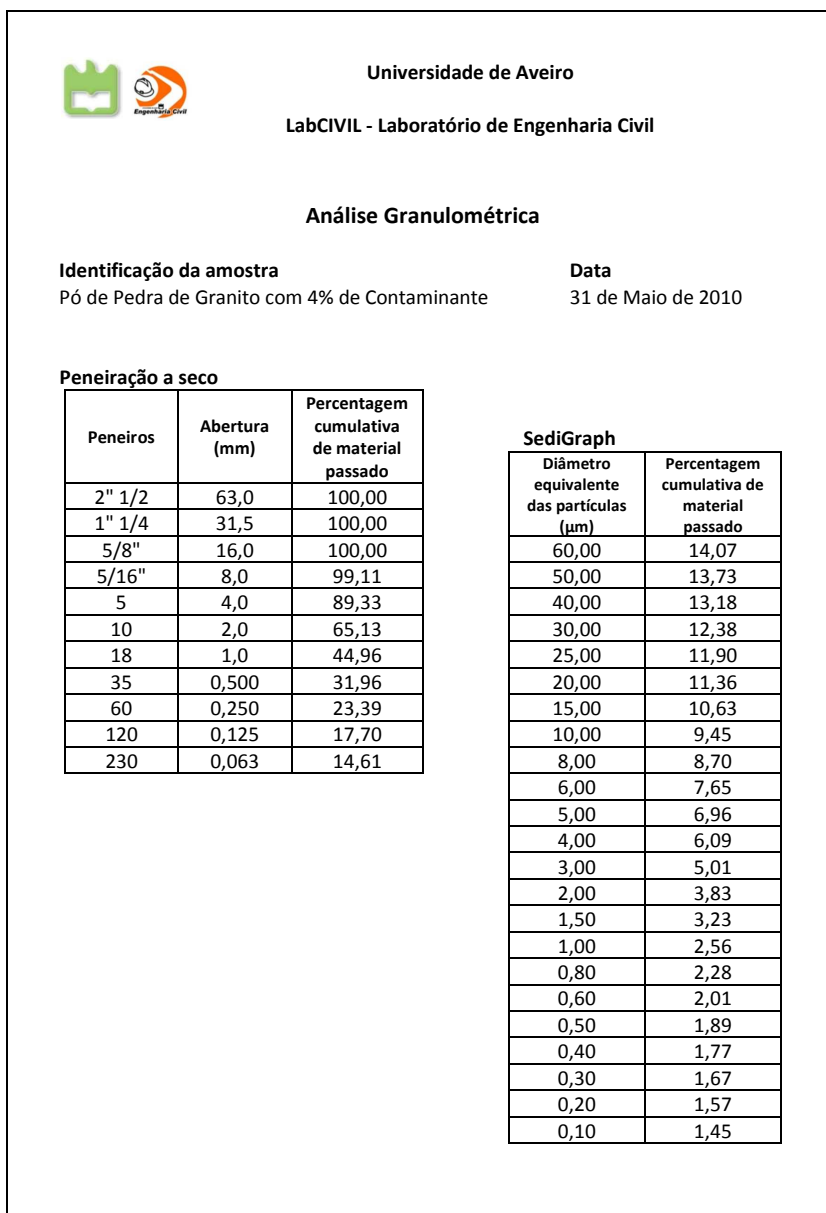


Figura I.27 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante.

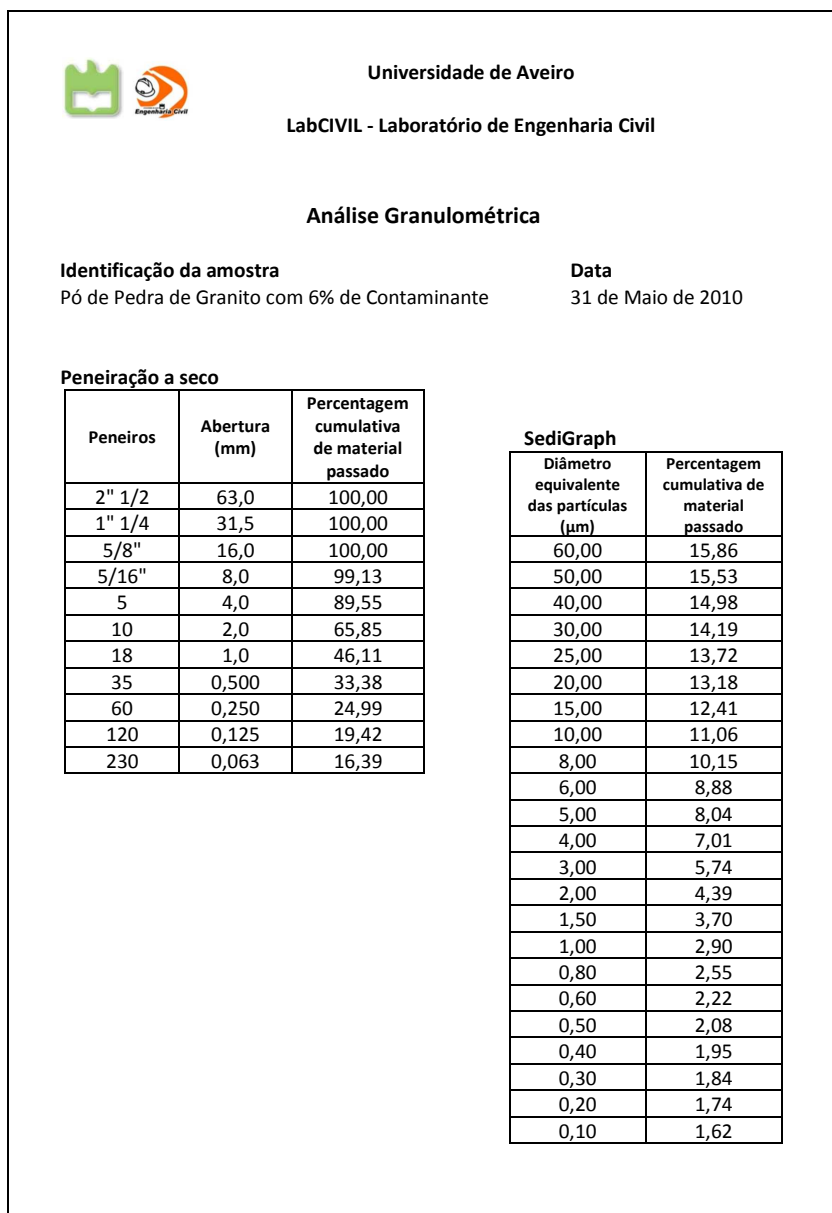


Figura I.28 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante.

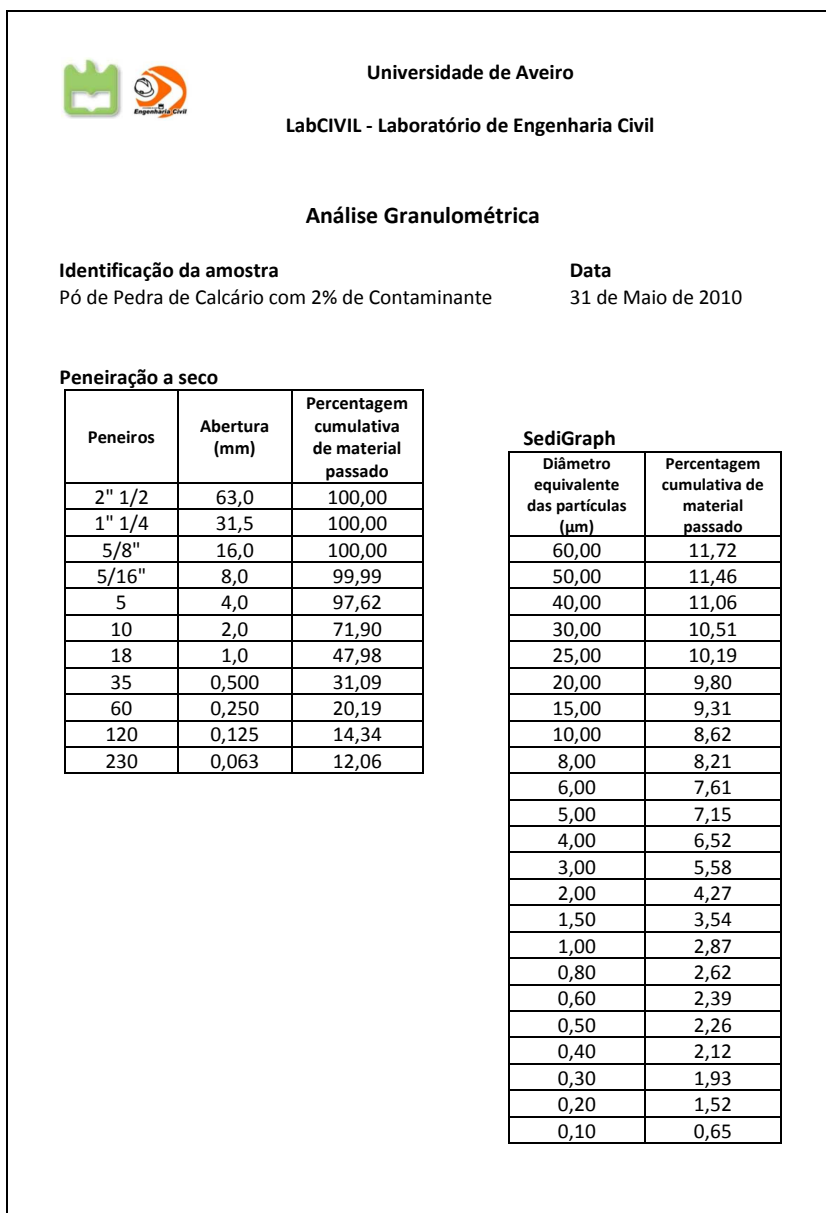


Figura I.29 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante.

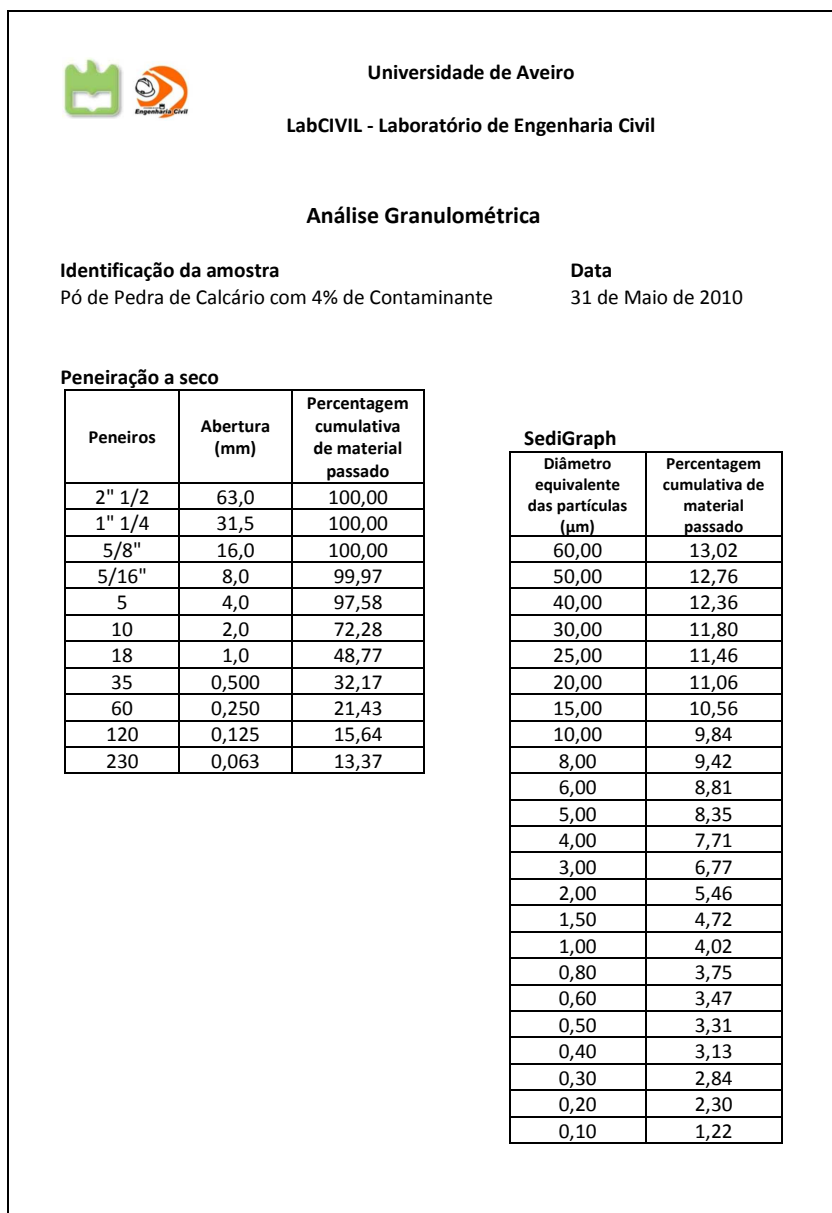


Figura I.30 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante.

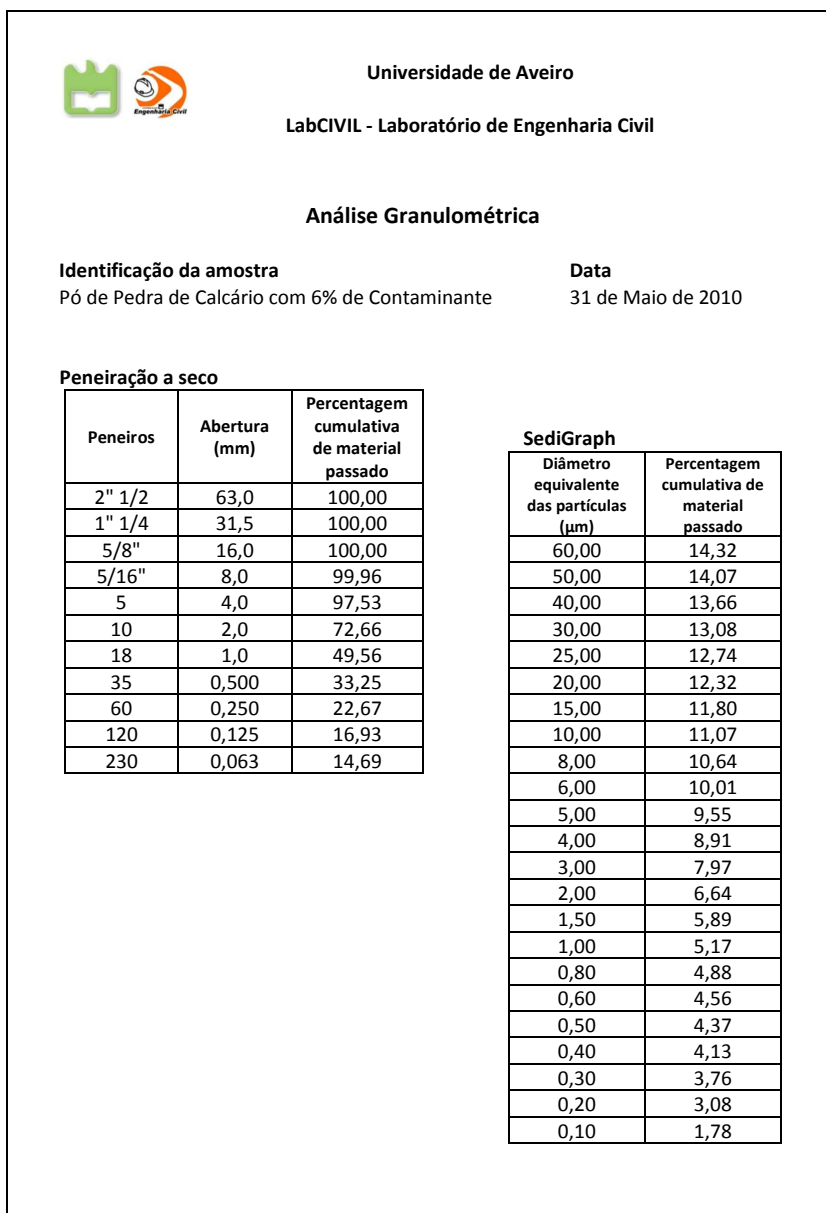


Figura I.31 - Granulometria da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 26 de Abril de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante</p>		
<p>Provetas 1</p>		
Massa do provete, M		120,07 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		128 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		74 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		57,8 %
<p>Provetas 2</p>		
Massa do provete, M		120,18 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		130 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		77 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		59,2 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,4% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	58 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.32 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 26 de Abril de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante</p>		
<p>Proveta 1</p>		
Massa do provete, M		120,79 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		148 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		74 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		50,0 %
<p>Proveta 2</p>		
Massa do provete, M		120,23 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		153 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		74 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		48,4 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,6% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	49 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.33 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 27 de Abril de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante</p>		
<p>Proveta 1</p>		
Massa do provete, M		120,80 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		178 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		74 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		41,6 %
<p>Proveta 2</p>		
Massa do provete, M		120,44 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		168 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		72 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		42,8 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,2% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	42 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.34 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 27 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante</p>		
<p>Provetas 1</p>		
Massa do provete, M		120,60 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		240 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		80 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		33,3 %
<p>Provetas 2</p>		
Massa do provete, M		120,50 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		264 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		82 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		31,1 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	2,2% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	32 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.35 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002</p>	<p>Data 29 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante</p>		
<p>Provetas 1</p>		
Massa do provete, M		120,60 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		304 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		80 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		26,3 %
<p>Provetas 2</p>		
Massa do provete, M		120,20 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		300 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		79 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		26,3 %
<p>Validação dos resultados</p>		
Diferença entre o SE dos dois provetes	0% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	26 %	
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.</p>		

Figura I.36 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Equivalente de Areia		
Norma de ensaio NP EN 933 - 8:2002	Data 26 de Julho de 2010	
Identificação da amostra Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante		
Proveta 1		
Massa do provete, M		120,80 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		343 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		79 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		23,0 %
Proveta 2		
Massa do provete, M		120,40 g
Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão, h_1		345 mm
Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão, h_2		75 mm
<i>Equivalente de Areia, SE</i>		21,7 %
Validação dos resultados		
Diferença entre o SE dos dois provetes	1,3% < 4%	✓
Média do Equivalente de Areia, SE	22 %	
Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Funil; Provetas cilíndricas graduadas com tampa de borracha; Tubo de lavagem; Cronómetro; Conjunto do mergulhador de ensaio; Régua.		

Figura I.37 - Equivalente de areia da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


	Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno	
Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002	Data 29 de Abril de 2010
Identificação da amostra Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante	
Provete 1	
Massa do provete, M_1	200,29 g
Volume de solução corante adicionado, V_1	30 ml
<i>Valor do Azul de Metileno, MB</i>	1,5 g/kg
Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.	

Figura I.38 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 2% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002</p>	<p>Data 29 de Abril de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante</p>		
<p>Provete 1</p>		
<p>Massa do provete, M_1</p>	<p align="right">200,31 g</p>	
<p>Volume de solução corante adicionado, V_1</p>	<p align="right">32 ml</p>	
<p><i>Valor do Azul de Metileno, MB</i></p>		<p align="right">1,6 g/kg</p>
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.</p>		

Figura I.39 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 4% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil		
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno		
Norma de ensaio	Data	
NP EN 933 - 9:2002	30 de Abril de 2010	
Identificação da amostra		
Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante		
Provete 1		
Massa do provete, M_1		200,69 g
Volume de solução corante adicionado, V_1		36 ml
<i>Valor do Azul de Metileno, MB</i>		1,8 g/kg
Material usado		
Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.		

Figura I.40 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Granito com 6% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.


		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002</p>	<p>Data 28 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante</p>		
<p>Provete 1</p>		
<p>Massa do provete, M_1</p>	<p align="right">200,34 g</p>	
<p>Volume de solução corante adicionado, V_1</p>	<p align="right">55 ml</p>	
<p><i>Valor do Azul de Metileno, MB</i></p>		<p align="right">2,7 g/kg</p>
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.</p>		

Figura I.41 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 2% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.



		Universidade de Aveiro	
		LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil	
Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno			
Norma de ensaio		Data	
NP EN 933 - 9:2002		28 de Julho de 2010	
Identificação da amostra			
Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante			
Provete 1			
Massa do provete, M_1		201,10 g	
Volume de solução corante adicionado, V_1		90 ml	
<i>Valor do Azul de Metileno, MB</i>		4,5 g/kg	
Material usado			
Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.			

Figura I.42 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 4% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.



		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação do Teor de Finos - Ensaio do Azul de Metileno</p>		
<p>Norma de ensaio NP EN 933 - 9:2002</p>	<p>Data 29 de Julho de 2010</p>	
<p>Identificação da amostra Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante</p>		
<p>Provete 1</p>		
<p>Massa do provete, M_1</p>	<p align="right">200,72 g</p>	
<p>Volume de solução corante adicionado, V_1</p>	<p align="right">115 ml</p>	
<p><i>Valor do Azul de Metileno, MB</i></p>		<p align="right">5,7 g/kg</p>
<p>Material usado Peneiro de 2 mm, fundo e tampa; Balança; Copo; Agitador; Bureta; Cronómetro; Vareta de vidro; Papel de filtro.</p>		

Figura I.43 - Azul de metileno da mistura de Pó de Pedra de Calcário com 6% de Contaminante. Folha de registo do ensaio.

Anexo II



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
 NP EN 933 - 1:2002

Data
 13 de Agosto de 2010

Identificação da amostra
 Brita Granítica - BG1

Procedimento usado
 Lavagem e peneiração ou peneiração seca

Massa seca após lavagem, M₂

998,15 g

Peneiração a seco


Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
1" 1/4	31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
	20,0	0,00	0,00	0,00	100,00
	10,0	4,56	0,46	0,46	99,54
5	4,0	989,44	99,13	99,58	0,42
10	2,0	3,40	0,34	99,92	0,08
35	0,500	0,02	0,00	99,93	0,07
120	0,125	0,20	0,02	99,95	0,05
230	0,063	0,26	0,03	99,97	0,03
-	Fundo, P	0,24	0,02	100,00	0,00
Soma de controlo, SC		998,12			

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,003\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
 Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura II.1 - Análise granulométrica do agregado BG1. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
NP EN 933 - 1:2002

Identificação da amostra
Brita Granítica - BG2

Massa seca após lavagem, M_2

Data
13 de Agosto de 2010

Procedimento usado
Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

1004,23 g

Peneiração a seco


Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
1" 1/4	31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
	20,0	0,00	0,00	0,00	100,00
	10,0	663,22	66,04	66,04	33,96
5	4,0	340,71	33,93	99,97	0,03
10	2,0	0,00	0,00	99,97	0,03
35	0,500	0,00	0,00	99,97	0,03
120	0,125	0,00	0,00	99,97	0,03
230	0,063	0,00	0,00	99,97	0,03
-	Fundo, P	0,11	0,01	99,98	0,02
Soma de controlo, SC		1004,04			

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,019\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura II.2 - Análise granulométrica do agregado BG2. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
 NP EN 933 - 1:2002

Data
 13 de Agosto de 2010

Identificação da amostra
 Brita Granítica - BG3

Procedimento usado
 Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

Massa seca após lavagem, M₂

1004,30 g

Peneiração a seco


Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
1" 1/4	31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
	20,0	32,42	3,23	3,23	96,77
	10,0	940,56	93,65	96,88	3,12
5	4,0	31,32	3,12	100,00	0,00
10	2,0	0,00	0,00	100,00	0,00
35	0,500	0,00	0,00	100,00	0,00
120	0,125	0,00	0,00	100,00	0,00
230	0,063	0,00	0,00	100,00	0,00
-	Fundo, P	0,00	0,00	100,00	0,00
Soma de controlo, SC		1004,30			

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,000\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
 Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura II.3 - Análise granulométrica do agregado BG3. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
NP EN 933 - 1:2002

Identificação da amostra
Brita Calcária - BC1

Massa seca após lavagem, M₂

Data
13 de Agosto de 2010

Procedimento usado
Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

990,59 g

Peneiração a seco


Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
1" 1/4	31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
	20,0	0,00	0,00	0,00	100,00
	10,0	377,60	38,12	38,12	61,88
5	4,0	611,51	61,73	99,85	0,15
10	2,0	0,64	0,06	99,92	0,08
35	0,500	0,24	0,02	99,94	0,06
120	0,125	0,35	0,04	99,97	0,03
230	0,063	0,22	0,02	100,00	0,00
-	Fundo, P	0,01	0,00	100,00	0,00
Soma de controlo, SC		990,57			

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,002\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura II.4 - Análise granulométrica do agregado BC1. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Análise Granulométrica

Norma de ensaio
 NP EN 933 - 1:2002

Data
 13 de Agosto de 2010

Identificação da amostra
 Brita Calcária - BC2

Procedimento usado
 Lavagem e peneiração ~~ou peneiração seca~~

Massa seca após lavagem, M₂

1001,00 g

Peneiração a seco


Peneiros	Abertura (mm)	Material retido (g)	Percentagem de material retido	Percentagem cumulativa de material retido	Percentagem cumulativa de material passado
1" 1/4	31,5	0,00	0,00	0,00	100,00
	20,0	253,52	25,33	25,33	74,67
	10,0	745,22	74,45	99,77	0,23
5	4,0	2,24	0,22	100,00	0,00
10	2,0	0,00	0,00	100,00	0,00
35	0,500	0,00	0,00	100,00	0,00
120	0,125	0,00	0,00	100,00	0,00
230	0,063	0,00	0,00	100,00	0,00
-	Fundo, P	0,00	0,00	100,00	0,00
Soma de controlo, SC		1000,98			

Validação dos resultados

$$\frac{M_2 - SC}{M_2} \times 100 = 0,002\% < 1\% \quad \checkmark$$

Material usado
 Equipamento de lavagem; Estufa; Peneiros de ensaio, com tampa e fundo; Balança; Tabuleiros e Escovas.

Figura II.5 - Análise granulométrica do agregado BC2. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água

Norma de ensaio NP EN 1097 - 6:2003	Data 13 de Agosto de 2010
---	-------------------------------------

Identificação da amostra
Brita Granítica - BG1

Provete 1

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	935,07 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	709,2 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	933,13 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,60 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,59 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,60 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	0,2 %

Provete 2

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	1065,69 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	794,3 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	1062,57 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,64 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,62 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,63 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	0,3 %

Massa volúmica do material impermeável das partículas, ρ_a	$2,62 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas secas em estufa, ρ_{rd}	$2,61 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, ρ_{ssd}	$2,61 \text{ g/cm}^3$
Absorção de água, WA_{24}	0,3 %

Material usado
Estufa; Balança; Termómetro; Tabuleiros; Panos absorventes macios e secos; Cesto de rede metálica; Tanque impermeável.

Figura II.6 - Determinação da massa volúmica do agregado BG1. Folha de registo do ensaio.



		<p align="center">Universidade de Aveiro</p> <p align="center">LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil</p>
<p align="center">Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água</p>		
Norma de ensaio	Data	
NP EN 1097 - 6:2003	13 de Agosto de 2010	
Identificação da amostra		
Brita Granítica - BG2		
Provete 1		
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1		892,56 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1		687,6 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3		135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w		0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4		889,96 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>		2,64 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>		2,62 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>		2,63 g/cm ³
<i>Absorção de água</i>		0,3 %
Provete 2		
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1		1077,51 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1		802,1 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3		135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w		0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4		1074,74 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>		2,64 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>		2,62 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>		2,63 g/cm ³
<i>Absorção de água</i>		0,3 %
Massa volúmica do material impermeável das partículas, ρ_a		2,64 g/cm ³
Massa volúmica das partículas secas em estufa, ρ_{rd}		2,62 g/cm ³
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, ρ_{ssd}		2,63 g/cm ³
Absorção de água, WA_{24}		0,3 %
Material usado		
Estufa; Balança; Termómetro; Tabuleiros; Panos absorventes macios e secos; Cesto de rede metálica; Tanque impermeável.		

Figura II.7 - Determinação da massa volúmica do agregado BG2. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água

Norma de ensaio	Data
NP EN 1097 - 6:2003	13 de Agosto de 2010

Identificação da amostra
Brita Granítica - BG3

Provete 1

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	981,08 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	748,0 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	979,56 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,68 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,67 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,67 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	0,2 %

Provete 2

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	1040,24 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	784,2 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	1036,78 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,68 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,66 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,67 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	0,3 %

Massa volúmica do material impermeável das partículas, ρ_a	$2,68 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas secas em estufa, ρ_{rd}	$2,66 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, ρ_{ssd}	$2,67 \text{ g/cm}^3$
Absorção de água, WA_{24}	0,2 %

Material usado
Estufa; Balança; Termómetro; Tabuleiros; Panos absorventes macios e secos; Cesto de rede metálica; Tanque impermeável.

Figura II.8 - Determinação da massa volúmica do agregado BG3. Folha de registo do ensaio.



		Universidade de Aveiro LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil
Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água		
Norma de ensaio NP EN 1097 - 6:2003	Data 13 de Agosto de 2010	
Identificação da amostra Brita Calcária - BC1		
Provete 1		
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1		938,40 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1		717,0 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3		135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w		0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4		925,26 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>		2,70 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>		2,60 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>		2,64 g/cm ³
<i>Absorção de água</i>		1,4 %
Provete 2		
Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1		1114,47 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1		826,7 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3		135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w		0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4		1099,74 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>		2,70 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>		2,61 g/cm ³
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>		2,64 g/cm ³
<i>Absorção de água</i>		1,3 %
Massa volúmica do material impermeável das partículas, ρ_a		2,70 g/cm ³
Massa volúmica das partículas secas em estufa, ρ_{rd}		2,60 g/cm ³
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, ρ_{ssd}		2,64 g/cm ³
Absorção de água, WA_{24}		1,4 %
Material usado Estufa; Balança; Termómetro; Tabuleiros; Panos absorventes macios e secos; Cesto de rede metálica; Tanque impermeável.		

Figura II.9 - Determinação da massa volúmica do agregado BC1. Folha de registo do ensaio.



Universidade de Aveiro
LabCIVIL - Laboratório de Engenharia Civil

Determinação da Massa Volúmica e da Absorção de Água

Norma de ensaio	Data
NP EN 1097 - 6:2003	13 de Agosto de 2010

Identificação da amostra
Brita Calcária - BC2

Provete 1

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	1040,75 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	782,9 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	1030,66 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,70 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,63 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,65 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	1,0 %

Provete 2

Massa do agregado saturado com superfície seca ao ar, M_1	1223,72 g
Massa aparente do cesto contendo o provete de agregado saturado, imersos em água, M_1	897,9 g
Massa aparente do cesto vazio imerso em água, M_3	135,1 g
Massa volúmica da água à temperatura do ensaio, ρ_w	0,9978
Massa no ar do provete seco em estufa, M_4	1212,96 g
<i>Massa volúmica do material impermeável das partículas</i>	$2,70 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas secas em estufa</i>	$2,64 \text{ g/cm}^3$
<i>Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca</i>	$2,66 \text{ g/cm}^3$
<i>Absorção de água</i>	0,9 %

Massa volúmica do material impermeável das partículas, ρ_a	$2,70 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas secas em estufa, ρ_{rd}	$2,63 \text{ g/cm}^3$
Massa volúmica das partículas saturadas com superfície seca, ρ_{ssd}	$2,66 \text{ g/cm}^3$
Absorção de água, WA_{24}	0,9 %

Material usado
Estufa; Balança; Termómetro; Tabuleiros; Panos absorventes macios e secos; Cesto de rede metálica; Tanque impermeável.

Figura II.10 - Determinação da massa volúmica do agregado BC2. Folha de registo do ensaio.